



**Magyar Tudományos Akadémia  
Debreceni Területi Bizottsága –  
Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

*elektronikus*

# **MŰSZAKI FÜZETEK IV.**

**Debrecen 2007**



**MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ  
ÉSZAK-ALFÖLDI RÉGIÓBAN  
2007**

**KONFERENCIA  
ELŐADÁSAI**

*elektronikus*  
**MŰSZAKI FÜZETEK  
IV.**

**Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

**ISBN 978-963-7064-18-0**

**Sorozatot szerkeszti: Pokorádi László**

**Debrecen 2007**

# TARTALOMJEGYZÉK

<b><i>Bera József</i></b> Repülési zaj értékelése	5
<b><i>Horváth Róbert</i></b> Szilárd műanyagok dinamikai tulajdonságai	15
<b><i>Husi Géza</i></b> Munkakörelemzés a jellegzetes emberi hibázás megelőzésére légijárművek karbantartásánál	23
<b><i>Kalmár Ferenc</i></b> Fűtési rendszerek geotermikus hőforrásról	31
<b><i>Kalmár Tünde</i></b> Alacsony exergiaigényű fűtési rendszerek	39
<b><i>Kavas László</i></b> Harcászati repülőgépek megítélése műszaki üzemeltetési szempontból	47
<b><i>Szabolcsi Róbert</i></b> Pilóta nélküli repülőgépek polgári alkalmazási lehetőségeinek vizsgálata	59
<b><i>Szigeti Ferenc, Dezső Gergely, Dr. Péter László, Százvai Attila</i></b> fűrókopást befolyásoló tényezők vizsgálata modellezéssel	67
<b><i>Szilvássy László</i></b> Harci helikopter fedélzeti fegyverei	77
<b><i>Varga Béla</i></b> Helikopter hajtóművek termikus összehasonlítása	89
<b><i>Oláh Béla, Bányai Tamás, Cselényi József</i></b> Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszernél a felhasználók késztermékigényeinek szerelőüzemekhez való hozzárendelése közvetett elosztás és összetett célfüggvények esetén	95

## **REPÜLÉSI ZAJ ÉRTÉKELÉSE**

A le- és felszállóhelyek állandó jellegű vagy ideiglenes működtetése során meghatározó tényező, ha a létesítmény olyan települési környezetben helyezkedik el, ahol a szomszédos területek vagy építmények zaj elleni védelmét is biztosítani kell. Előfordul, hogy egy-egy területen a repülési műveletszám erőteljes korlátozása szükséges, vagy a leszállási és kirepülési útvonalak pontos kijelölése, betartása és folyamatos ellenőrzése jelenti a zajvédelmi követelmények teljesítésének egyik lényeges feltételét.

A repülési zaj értékelésénél és a zavaró hatás mérlegelésénél az egyedi átrepülésektől származó zaj átrepülési időre vonatkozó, méréssel megállapított értékei a mérvadók. A vonatkozó jogszabályokban előírt követelmények szerinti minősítés esetében azonban már a nappali 16 óra és az éjszakai 8 óra megítélési idővel számolunk, ami a rövid idejű, de magas hangnyomásszintet okozó átrepülések esetében is kisebb értéket ad, a legtöbb esetben a határértékek teljesüléséhez járul hozzá. Így van ez akkor is, ha egy-egy repülési műveletnél a zajszint-változás vagy a maximum értékek alakulása kimagasló jellegű.

Ebben az esetben azt a problémát kell feloldanunk, hogy a maximum zajszint értékek és a zaj egyéb jellemzők miatt fellépő zavaró jellege elmosódik az időegységre vetített értékelésben, tehát a kellemetlen zavaró hatás megszüntetésére nem adtunk megfelelő választ, illetve a megoldást nem határoztuk meg. Emiatt van szükség a zajjellemzők részletesebb vizsgálatára, és a zaj értékeléséhez szükséges egyéb tényezők feltárására.

A repülési zaj mértékét műszeres zajméréssel lehet pontosan meghatározni, amikor a vizsgált területen a leszállások és kirepülések végrehajtására már lehetőség nyílik, és a légijárműre vonatkozó adatokat —leszállási zajszint, átrepülési zajszint, felszállási zajszint— a védendő területen kijelölt terhelési pontban határozzuk meg. Ekkor a vizsgálati eredményt módosíthatják a környezeti adottságok, így a terület beépítettsége miatt fellépő hangvisszaverődés, a felületek és környezeti elemek hangelnyelése, a környezeti alapzaj, esetlegesen az ebből adódó hangelfedés.

A világ számos országában végeztek felmérést a meglévő és a tervezett repülőterek környezetében a repülőterektől és a légi forgalomtól származó zajterhelés hatásaival és a lakossági megítéléssel kapcsolatban. Az elvégzett vizsgálatok rámutatnak arra, hogy a repülőterekhez közeli települések fejlődése és a forgalom folyamatos növekedése miatt a repülési zaj egyre nagyobb hatással lesz az érintett területekre [1].

Az előadásban mérési eredmények felhasználásával, a repülési zaj értékelését befolyásoló, a légi járműre jellemző, illetve a környezeti adottságok miatt kisebb vagy nagyobb jelentőséggel bíró tényezőket kívánom bemutatni. Ennek keretében szeretnék rámutatni azokra a tényezőkre, melyek a zajjellemzők változásából és a kialakuló zajterhelésre gyakorolt hatásából fakadnak.

## **ZAJTERHELÉS ÁLTALÁNOS ÉRTÉKELÉSE**

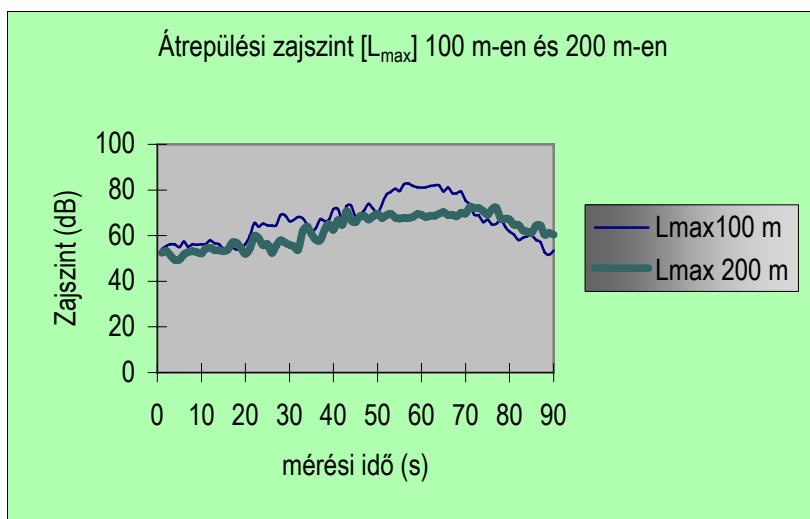
A jelenleg alkalmazott vizsgálati eljárások keretében, a repülési zaj értékelésénél és a minősítésnél az egyedi átrepülésektől származó zaj átrepülési időre vonatkozó, méréssel megállapított értékeit tekintjük alapadatnak. A vonatkozó jogszabályokban előírt követelmények szerinti minősítés esetében azonban már a nappali 16 óra és az éjszakai 8 óra megítélési idővel számolunk, ezért a vizsgálati időben végzett repülési műveletektől származó és méréssel kimutatott zajszintekből számítással határozzuk meg a nappali és éjszakai zajterhelést [2, 3]. Az eljárás a rövid idejű, de magas hangnyomásszintet okozó átrepülések esetében kisebb értéket ad, a legtöbb esetben a határértékek teljesüléséhez járul hozzá. Így van ez akkor is, ha egy-egy repülési műveletnél a zajszint-változás vagy a maximum értékek alakulása kimagasló jellegű.

A szubjektív érzékelés szempontjából —műszeres méréseknél szintén ennek megfelelően járunk el— a repüléstől származó zaj megjelenése, érkezéskor a környezeti alapzajtól való kiemelkedés, távolodáskor a környezeti alapzajban való eltűnés adja a zajhatást. Ezért a vizsgálatok során a repülési műveletek szüneteiben el kell végeznünk a környezeti alapzaj mérését is, ennek pontos meghatározása elengedhetetlen a végső kiértékelésnél.

Egy érkező és egy távolodó MI-8 típusú helikopter átrepülése során, közvetlenül az átrepülési útvonal alatt műszeres méréssel meghatározott zajterhelés adataiból megrajzolt zajszint-idő függvényt mutat az 1. ábra.

Megfigyelhető, hogy az érkezés és a távolodás időszakában jelentős különbségek adódnak. Az érkező és a leszálló helikopter által kifejtett hajtómű-teljesítmény, a járműszerkezet és a forgószárny által lesugárzott zaj, valamint a környezeti jellemzők miatt a hangtér jellegében eltérés tapasztalható.

Az azonos időszakra vonatkozó zajszint adatokban további szembetűnő különbség, hogy a maximális értékek nem közvetlenül akkor észlelhetők, amikor a zajforrás és a vizsgálati pont közötti távolság a legkisebb. A különbség elsődleges oka az, hogy a forgószárny és a faroklégsavar-lapátok eltérő zajkeltése a hangtér deformációját okozza.



1. ábra. Átrepülési zajszintek alakulása eltérő magasság esetében

Az idő függvényében rögzített maximális A-hangnyomásszintek ( $L_{max}$ ) és az időegységre vetített egyenértékű A-hangnyomásszintek közötti különbséget az 1. táblázat mutatja. A műszaki gyakorlatban az egyenértékű hangnyomásszintet alkalmazzuk a határértékekkel történő összehasonlításra és az értékelésre, ami a méréssel kimutatott maximális értékek jelentőségét csökkenti. Fontos megjegyezni, hogy az 1. táblázatban közölt zajszint értékek beépítetlen szabad térben, általános mezőgazdasági terület fölötti átrepülésre vonatkoznak, ahol a terület növényzettel fedett. A mérési körülmények, a környezet és az esetleges beépítettség jellemzői a későbbiekben, az előzetes tervezés és a tényleges vizsgálat eredményeinek elemzése során kapnak még jelentőséget.

Zajszintek		1. táblázat	
Átrepülési magasság 100 m		Átrepülési magasság 200 m	
$L_{max}$	$L_{Aeq}$	$L_{max}$	$L_{Aeq}$
81,8 dB	73 dB	72,3 dB	63 dB

A repülési zajesemény vizsgálatánál az időegységre vetített egyenértékű szintek miatt, a valóságban észlelt maximális zajszintnél [ $L_{max}$ ] jóval kisebb hangnyomásszintet kapunk, ami a zajhatás értékelését torzítja, az esetleges probléma megoldásánál bizonytalansági tényezőt jelent.

## ÉRTÉKELÉS ZAJTÉRKÉP ALAPJÁN

Helikopter leszállóhely vagy repülőtér használatától származó zajterhelést a leszállási-, a felszállási- és az átrepülési hangnyomásszintek alapján számíthatjuk a napi le- és felszállási műveletek figyelembevételével az (1) egyenlet szerint.

$$L_{AM} = 10 \cdot \lg \left[ M \cdot \left( \tau_{ref} / T \right) \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AX}} \right] \quad (1)$$

ahol:

$L_{AM}$  a repülési zaj mértékadó A-hangnyomásszintje [dB].

$M$  a repülési műveletek száma egy napra vonatkoztatva (le- és felszállás egy repülési művelet).

$\tau_{ref}$  1 sec.

$T$  Vonatkoztatási idő, nappali időszakban  $T = 16$  óra, azaz 57 600 sec.

$L_{AX}$  Repülési műveletre vonatkozó átlagos repülési zajesemény-szint.

A számításhoz a MI-2 típusú, valamint a járműpark korszerűsítésével a jövőben sok helyen használni kívánt EC 132 T2 típusú helikopter esetében elvégzett műszeres zajvizsgálatok eredményeit használtuk fel, amit a 2. táblázat mutat. Az EC 132 T2 típusú helikopter kedvelt típus például a baleseti mentés feladataira szakosodott szervezeteknél.

Ugyanakkor erre a célra leszállóhelyet több alkalommal jelöltek ki már meglévő kisebb repülőtereken, például ilyen működik Budaörs repülőtéren is. Ezekben az esetekben az új repülési eljárásokat a meglévő repülőtéri forgalommal kell összehangolni, zaj elleni védelem szempontjából kiértékelni és szükséges követelményeket meghatározni.

A repülési műveletektől származó környezeti zajterhelés (1) egyenlet alapján számított értékeit a leszállóhely közvetlen környezetében a 3. táblázat szemlélteti.

Repülési zajszint értékek

2. táblázat

MI-2 helikopter			EC 132 T2 helikopter		
Leszállás	Felszállás	Átrepülés	Leszállás	Felszállás	Átrepülés
97,5 dB	92,9 dB	88,5 dB	94,9 dB	88,3 dB	85,7 dB

Repülési zaj számított értékei

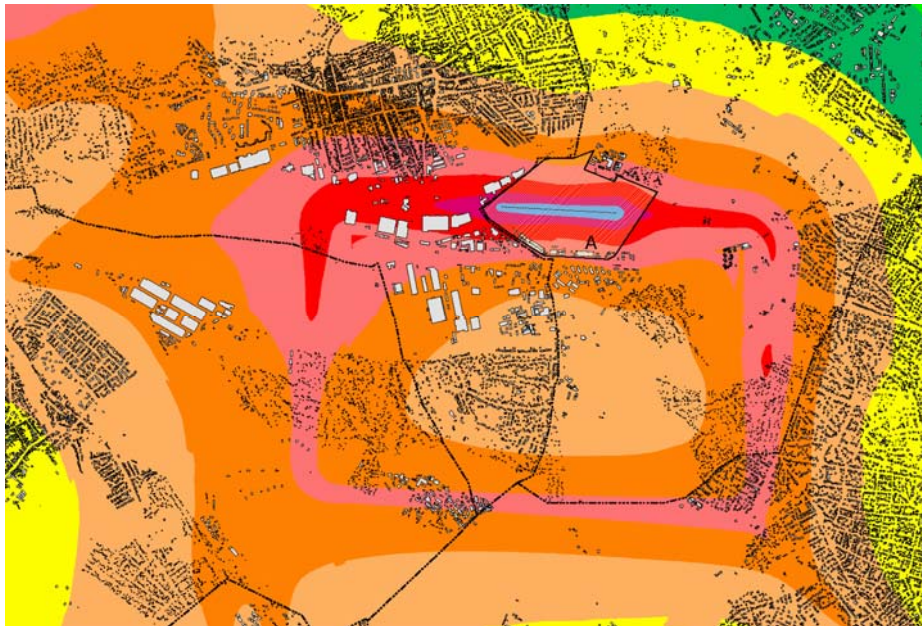
3. táblázat

MI-2 helikopter		EC 132 T2 helikopter	
1 repülési művelet	5 repülési művelet	1 repülési művelet	5 repülési művelet
$L_{AM} = 41$ dB	$L_{AM} = 48$ dB	$L_{AM} = 38$ dB	$L_{AM} = 45$ dB

A zajterhelési határértékek teljesülésének ellenőrzéséhez szükséges vizsgálati eljárás folyamatában a helikopterek működésétől származó maximális hangnyomásszintek mellett az időegységre — leggyakrabban a vonatkozó jogszabályokhoz igazodva a nappali 16 óra és éjszakai 8 óra megítélési időre— vetített napi átrepülések száma a meghatározó. Ez a feltétel azonban jelentős korlátozást jelenthet a leszállóhely vagy repülőtér használatában.

A repülési műveletszámok betartása, és a repülési eljárásokra tett előírások biztosíthatják a későbbiekben a környezeti zajterhelés előírt vagy rögzített értékeinek érvényesítését. A kíméletesebb környezethasználat érdekében szükséges intézkedések megalapozását segítik elő az ún. zajtérképek, melyek szinkóddal ábrázolják egy létesítmény környezetében a zajterhelést és az érintett területet. A mért és számított adatok felhasználásával nyomon követhető az is, hogy egy-egy területen mekkora a repülési eljárások és műveletek miatt kialakuló zajterhelés, a tevékenység módosítása mennyiben változtatja meg az értékeket vagy az érintett terület nagyságát, ezzel együtt a lakosságszámot.

A zajterhelési adatok térképi ábrázolását szemlélteti a 2. ábra. A zajtérkép Budaörs repülőteret és környezetét mutatja. A repülőterek merev szárnyú repülőgépek és helikopterek egyaránt igénybe veszik, a kimutatott zajterhelés az együttes forgalomra vonatkozik.



2. ábra. Zajtérkép

A zajtérképi ábrázolás a jelenlegi állapot szemléltetése és minősítése mellett a jövőbeni állapot becsléséhez is felhasználható mind a repülőtérre vonatkozó fejlesztési elképzeléseknél, mind a létesítmény környezetében található területek használatában bekövetkező változások (funkcióváltás, beépítés, épületek elhelyezése) előzetes kiértékelésénél.

A repülőterek működésére vonatkozó előre jelzések minden esetben rámutatnak arra, hogy a légi forgalom folyamatos növekedése a zajterhelés növekedését eredményezi az érintett környezetben. A kutatások [1] eredményei mutatják azt is, hogy a meglévő kifutópályák, a korábban meghatározott fel- és leszállási útvonalak használatával a repülőterekhez és leszállóhelyekhez közeli területekre egyre nagyobb hatással lesz a repülési zaj. Az a tény, hogy az elmúlt években az elavult légi járműveket korszerűbb és zajcsökkentett típusuk váltották fel csak kis mértékben befolyásolták a környezeti zajterhelést.

A zaj megítélése és a hangterjedést befolyásoló egyéb tényezők vizsgálata során nyert tapasztalatok alapján az „egyszámos” vagy az egy zajterhelési értékkel, valamint a zajtérképeknél alkalmazott és szintén az egy zajterhelési adatra támaszkodó értékeléssel a zaj megítélése nem lesz teljes körű, a zavaró hatás minősítéséhez az egyéb zajjellemzők ismerete is szükséges.

## ZAJVIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

A világ számos országában végeztek kutatásokat, melyek a repüléstől származó zajterhelést a lakosság által leírt zavaró jelleg figyelembe vételével tárja fel. A tapasztalat az, hogy a zaj megítélése nem egyértelmű, ami arra mutat rá, hogy a kialakuló zajterhelés jellegét, mértékét és a minősítés szempontrendszerét tovább kell vizsgálni.

A repülési zajt több olyan környezeti tényező, a repülési eljárásból és légijármű működéséből adódó jellemző befolyásolja, ami a megítélési időre vetített, szokásos eljárás szerint a nappali 16 órára és az éjszakai 8 órára vonatkoztatott egyenértékű zajterhelés, valamint a szubjektív észleléssel meghatározott zajhatás között jelentős különbségeket okoz.

Ahhoz, hogy a napi repülési műveletszám mellett ténylegesen kimutatott, a határértékekkel történő összehasonlításhoz is felhasznált adatok milyen módon egészíthetők ki, illetve a zavaró hatás jobb megítéléséhez milyen zajjellemzők felhasználása szükséges, a mért zajszint értékek alaposabb feltárása szükséges. A tényleges zajterhelés mért értékei mellett mind mérés technikai szempontból,



mind az értékelés miatt a környezeti alapzaj-szintet is körültekintően kell meghatároznunk. Ennek oka, hogy a mérési eredmények mellett az átlagos alapzajból való kiemelkedés és a legnagyobb zajszintek is nagymértékben befolyásolják a zavaró jelleg kialakulását.

A repülési műveletek, így a zajesemények között eltelt időben a szubjektív megfigyelő által is észlelt zajterhelés a környezeti alapzajnak megfelelő értékre csökken, emiatt az észlelés szempontjából időről-időre egy kellemes állapot alakul ki. Ezután a megismételt átrepülés miatt a zajterhelés ismét jelentős, a repülési műveletre jellemző értéket ér el. Ezek az időszakos, állandó szünetekkel végrehajtott, de ismétlődő átrepülések adott légi forgalom mellett egy ütemesen jelentkező, és az átlagos környezeti alapzajtól kimagasló jellegű zajt okoznak. A változás folyamatossága a megfigyelő számára növeli a zavaró hatást.

Terhelési pontban kimutatott hangnyomásszintek változásait az alapzaj-szintek és a repüléstől származó zajszintekkel, vagyis a minimum és a maximum értékek közötti különbségekkel jól jellemezhetjük. A mért zajszint értékeket mutatja a 4. számú táblázat. A hangnyomásszintek közötti különbségek értéke  $\Delta L = 22\text{--}32,1$  dB között változik, amit a 3. számú és 4. számú ábrák is jól érzékeltetnek.

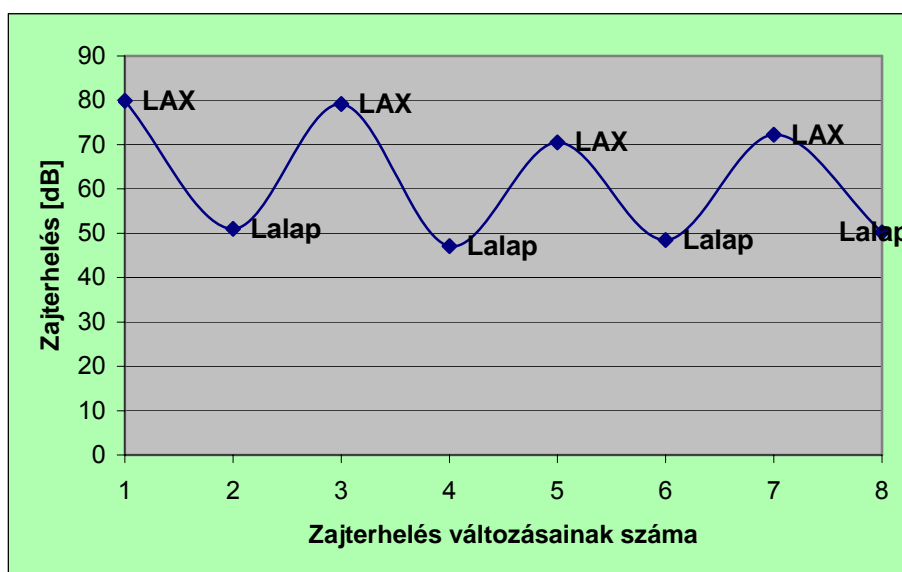
Zajeseményszintek és alapzaj értékei

4. táblázat

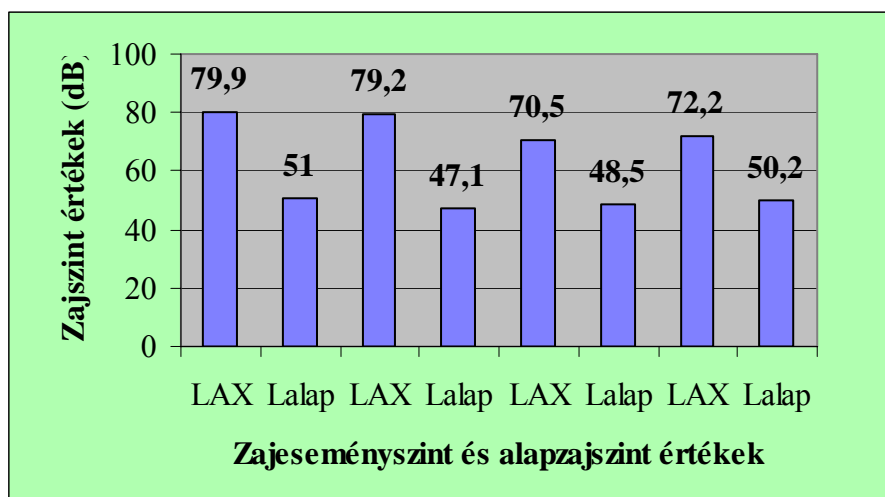
Repülési művelet	Zajeseményszint a terhelési pontban	Alapzaj a terhelési pontban
Felszállás 1	$L_{AX} = 79,9$ dB	$L_{A\text{lap}} = 51,0$ dB
Felszállás 2	$L_{AX} = 79,2$ dB	$L_{A\text{lap}} = 47,1$ dB
Leszállás 1	$L_{AX} = 70,5$ dB	$L_{A\text{lap}} = 48,5$ dB
Leszállás 2	$L_{AX} = 72,2$ dB	$L_{A\text{lap}} = 50,2$ dB

Annak figyelembe vételével, hogy a zavarás megítélésére vonatkozó vizsgálatok tapasztalatai alapján a megkérdezett lakosság jelentős része nagyon vagy meglehetősen zavarónak ítélte meg a légi forgalomtól származó zajt, az értékelésnél indokolt a zavarás okaként feltárt egyéb tényezők figyelembe vétele. A zajterhelés mértékét a zajesemény-szintek vizsgálati időre vetített átlagos zajszint értéke mellett, további zajjellemzők felhasználásával lehet pontosabban meghatározni.

A frekvencia függvényében kimutatott hangnyomásszint változás a kimagasló érték mellett a környezeti alapzaj jellemzőivel történő összevetés miatt is lényeges szempont, ezért a vizsgálati eredmények értékelésénél a repülési zaj és a terhelési pontra jellemző átlagos környezeti alapzaj frekvencia jellegét is összehasonlítottuk.



3. sz. ábra: Legnagyobb és legkisebb hangnyomásszintek



4. sz. ábra: Zajsesményszintek és alapzajszintek összevetése

Különböző környezeti adottságok mellett és eltérő repülési műveletek esetében korábbi műszeres zajmérések alapján a következőket állapítottuk meg:

- A zajszint-idő függvény alapján helikopter érkezésekor a mérés kezdési időpontját és a zaj környezeti alapzajból való határozott kiemelkedését az eltérő repülési magasságból adódó hangnyomásszint különbség nem befolyásolta jelentős mértékben, a vizsgálati pont és a légi jármű közötti távolság miatt kialakuló eltérés csak a terhelési ponthoz közelebb, illetve a távolodás időszakában mutatkozott kimutatható módon.
- A terhelési pont fölött átrepülő vagy huzamosabb ideig ott tartózkodó légi járműtől származó zaj minimum és maximum értékei között jelentős különbség mutatható ki, ami a szubjektív észlelést és a zavaró hatást meghatározza.
- A kimutatott zajszintek legnagyobb és legkisebb értékei közötti különbség, valamint a környezeti alapzajtól való elkülönült észlelés együttesen is befolyásolja a mérési időtartamra jellemző átlagos egyenértékű zajszinteket.
- A zavaró jelleget fokozza a hangnyomásszintek ütemesen megjelenő, változó jellege is. A legnagyobb hangnyomásszintek kialakulása, az időbeli változások nagysága és száma, az egyéb zajjellemzőkre és az egyenértékű zajszintre gyakorolt hatása meghatározó az észlelt zaj értékelésében.
- Az egy-egy frekvenciasávban kiugró hangnyomásszintek hatása a zavaró jelleg minősítése szempontjából meghatározó lehet, mivel a környezeti alapzajhoz képest jelentős értékeket tapasztaltunk, ami szintén a változás intenzitását növeli.
- A szűkebb frekvenciasávokban, tapasztalatunk szerint jellemzően a 125 Hz-es tercsávban, illetve mellette a mélyebb tartományokban kimutatható, kimagasló hangnyomásszintek a tényleges mérés kezdési és befejezési időpontját, azaz a megválasztott mérési időt, az értékelésnél figyelembe vett hangnyomásszinteket és a hozzájuk tartozó időtartamot jelentős mértékben módosíthatják, ami választ ad arra, esetenként miért minősítjük a zajterhelést „nagyon zavarónak”.

A mért zaj határértékekkel való összevetése során „egy számos” terhelési értéket állapítunk meg nappali és éjszakai időszakokra. A minősítésnél felhasznált egyenértékű szint a legnagyobb és legkisebb hangnyomásszinteket figyelembe véve adja meg a zajterhelést, de nem alkalmas az egyéb zajjellemzők, így a zavaró hatás kialakulásában szerepet játszó tényezők minősítésére. Az eddigi zajvizsgálatok alapján megállapítható, hogy az objektív módon kimutatott zajterhelési értékek és a szubjektív értékelés közötti kapcsolatot további értékelési szempontok felállításával lehet kialakítani. A hangnyomásszintek további elemzése szükséges a kimutatott értékek frekvencia, környezeti tényezők és az időbeni változás szerinti jellemzőinek feltárásához.

## ÉRTÉKELÉS EGYÉB ZAJJELLEMZŐK ALAPJÁN

A repülési zaj nem csak a leszállóhelyek környezetét vagy a repülőtér területét érinti, a legtöbb művelet során a kijelölt repülési útvonalak (fel- és leszállási irányok, iskolakör) alatt található területeken is érvényesül. Ilyen probléma a gyakorló-, a bemutató-, vagy a sétarepülések alkalmával jelentkezik, mivel ezekben az esetekben gyakran repüléstől mentes légtér igénybevételére kerül sor. Emellett a zajterhelés kialakulásában szerepet játszik a terület beépítettsége, ebből fakadóan az akusztikai tulajdonságok (pl. hangvisszaverődés) hatása.

A korábbiakban tett megállapítások alapján települési környezetben végeztünk további méréseket annak megismerésére, hogy a kijelölt repülési útvonal vagy az igénybe vett légtér és a terhelés pont közötti nagyobb távolság esetén mekkora a zajterhelés és milyen jellemzők befolyásolják a kialakult hatást. A mérések keretében külön meghatároztuk a környezeti alapszajt is a repülési zaj jobb megítélése érdekében. A vizsgált területet a repülési útvonallal és a terhelési ponttal az 5. számú ábra szemlélteti.



5. sz. ábra: A repüléssel érintett terület és a zajvizsgálati pont

A zajvizsgálat idején az 5. sz. ábrán szemléltetett terület felett egy Extra-300 típusú műrepülőgép, ezután egy MI-17 típusú helikopter légi bemutató repülést végzett. A zajvizsgálati pontot az engedélyezett és igénybe vett légtértől távol, települési környezetben jelöltük ki, lakóház védendő homlokzata előtt 2 m-re és 6 m-es magasságban. A repülési műveletek során igénybe vett légtér középpontja és a terhelési pont közötti távolság  $s_t = 2200$  m, a légtér használat során a légi jármű és a terhelési pont közötti legkisebb távolság  $s_{\min} = 1000$  m volt. A helikopter repülési magassága 450 m, a műrepülőgép repülési magassága a gyakorlatba foglalt műveletek szerint változott.

A zajmérés keretében a helikopterrel és a műrepülőgéppel végzett repülésektől származó A-hangnyomásszinteket rögzítettük 5 perces mérési idővel. A repülési szünetekben a kijelölt terhelési pontban mértük a környezetre jellemző alapszaj értékeit.

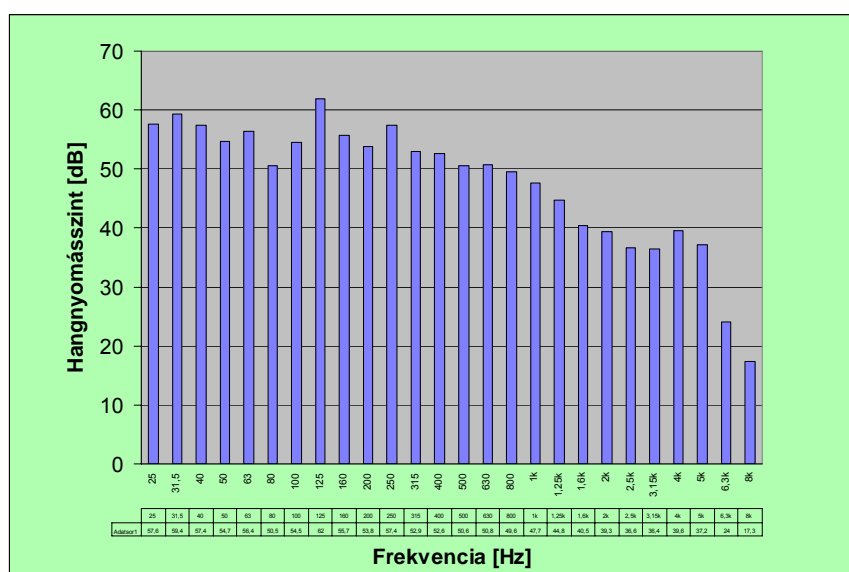
Elsőként a mért zajszint értékek alapján összefoglaltuk a mérési időre vonatkoztatott egyenértékű, valamint a mért legnagyobb és legkisebb hangnyomásszint értékeket. A korábbiakban már kimutatott eredményre jutottunk, a hangnyomásszint értékek alapján az 5. táblázatban közölt adatok figyelembe vételével a következő megállapításokat tehetjük:

- A legnagyobb és a legkisebb értékek közötti különbség jelentősnek mondható, helikopteres repülés esetében  $\Delta L = 21,1$  dB, műrepülés esetében  $\Delta L = 17,3$  dB. Az alapzaj értékeivel, vagyis a repülési szünetekre jellemző állapotra vonatkozó zajszintekkel való összevetés esetében a hangnyomásszint változás értéke helikopteres repülés esetében a  $\Delta L = 24,8$  dB, műrepülés esetében  $\Delta L = 15,3$  dB. A mérési, illetve az észlelési időben tapasztalt zajszint-változás mértéke jelentős, ami a zavaró hatást fokozza.
- A zajforrás és a terhelési pont közötti távolság növelésével a hangnyomásszintek jellegében nem mutatható ki változás. A repülési műveletektől származó zajszintek a környezeti alapzajtól jól elkülönülnek, mind a legkisebb, mind a legnagyobb zajszintek esetében.

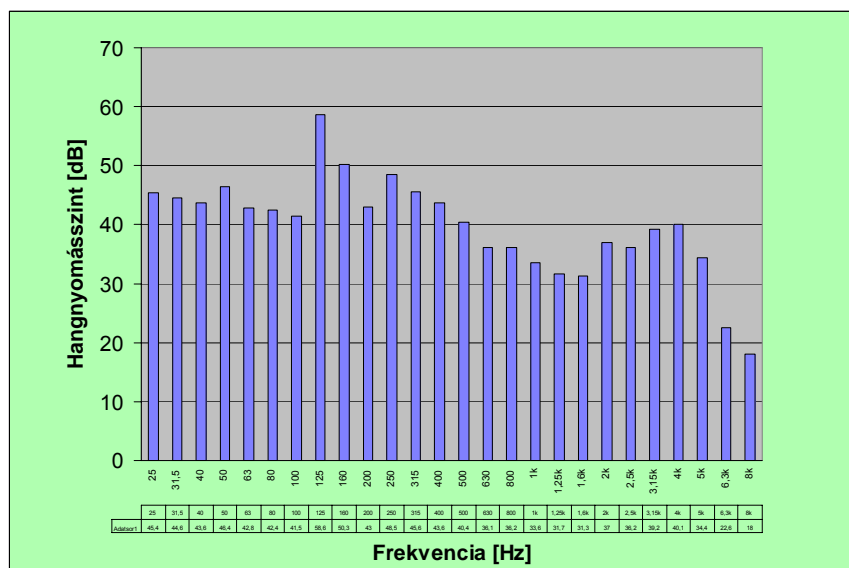
Repülési zaj és alapzaj értékei			5. táblázat
Zajforrás	Lmin.	Lmax	Leq
Környezeti alapzaj	27,0 dB	42,6 dB	30,7 dB
Helikopter	46,3 dB	67,4 dB	57,6 dB
Műrepülőgép	40,6 dB	57,9 dB	50,0 dB

A továbbiakban a hangnyomásszintek és a frekvencia jelleg összefüggéseit elemeztük a repülési zajra és a környezeti alapzajra vonatkozó adatok figyelembe vételével. A vizsgálati eredmények alapján látható, hogy a legnagyobb hangnyomásszintek a helikopter és a műrepülés esetében egyaránt a mély frekvenciákon, a kiugró tonális összetevők értékelése szerint 125 Hz-en, 160 Hz-en és 315 Hz-en alakulnak ki. A legnagyobb értékek helikopter repülése során 125 Hz frekvencián  $L_p = 62$  dB, a műrepülőgép gyakorlata során 125 Hz frekvencián  $L_p = 58,6$  dB. A mért hangnyomásszint értékeket a frekvencia függvényében a 6. és 7. sz. ábrák mutatják.

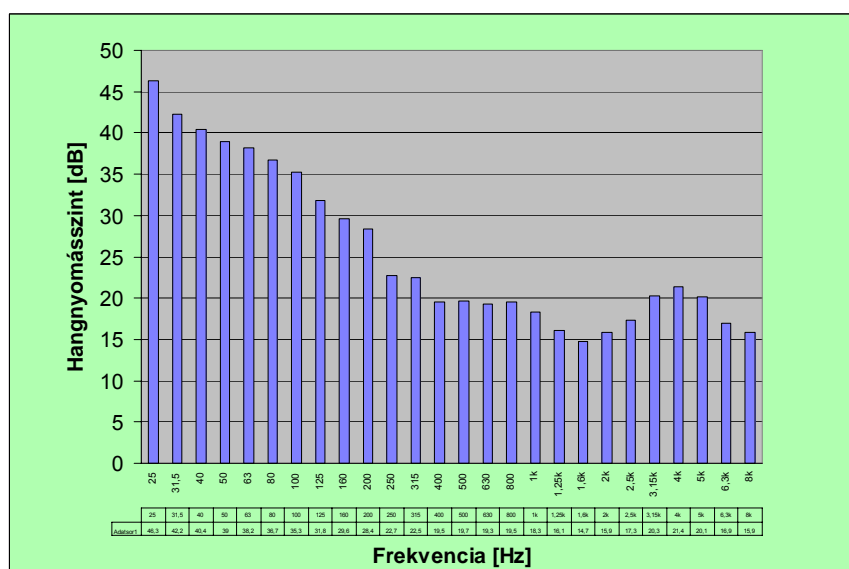
A magas hangok a terjedési úton jobban csillapodnak, mint a mélyek, a csillapítás mértéke a repülési zaj földön észlelt nagyságát befolyásolja. Mérési tapasztalataink szerint az  $f = 125$ -160 Hz-en jelentkező legnagyobb értékek a terjedési úton várt csillapodás mértékét rontják. Emiatt beépített területen az egyéb környezeti jellemzők hangterjedésre gyakorolt hatása, a térben (vizsgált környezetben) található felületek esetleges hangelnyelése nagyobb szerepet kap, míg a távolság növelésétől várt zajszint csökkenés kisebb mértékű a korábbiakban becsült mértéknél.



6. sz. ábra: Hangnyomásszintek a frekvencia függvényében helikopteres repülésnél



7. sz. ábra: Hangnyomásszintek a frekvencia függvényében műrepülés esetében



8. sz. ábra: Alapzajra jellemző hangnyomásszintek a frekvencia függvényében

A szubjektív érzékelés szempontjából a repüléstől származó zaj megjelenése, érkezéskor a környezeti alapzajtól való kiemelkedés, távolodáskor a környezeti alapzajban való eltűnés adja a zajhatást. Zajvizsgálatok során mérési idő kezdetét és a mérés befejezését ennek megfelelően választjuk meg, hiszen az alapzajból kiemelkedő és jól elkülönült hangnyomásszintek alapján mondhatjuk, hogy egy légi jármű érzékelhető zajterhelést okoz, illetve a zavaró hatás mértékét is ez határozza meg. Ez egyben azt is jelenti, hogy a mérési eredményeket csak az adott környezetre jellemző alapzaj figyelembe vételével lehet megfelelően kiértékelni. A vizsgált repülési műveletekre vonatkozó zajszint adatok mérése után azonos mérési idővel és mérési körülmények mellett rögzítettük az alapzaj értékeit, a hangnyomásszinteket a 8. sz. ábrában foglaltuk össze.

Az jól látható, hogy a repülési zajra jellemző  $f = 125\text{-}160$  Hz-en kimutatott hangnyomásszintek jóval kisebbek, így ezekben a frekvencia sávokban az átlagos környezeti zaj és a repüléstől származó zaj közötti különbségek ismét meghatározóak. A 125 Hz-es sávban a helikopteres repülés esetében tapasztalt különbség  $\Delta L = 30,2$  dB, műrepülés esetében  $\Delta L = 26,8$  dB. Ezek a kimagasló hangnyomásszint értékek az alapzajtól való elkülönült észlelést okozzák.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Leszállóhelyek és repülőterek üzemeltetésénél, illetve repülési feladatok végrehajtása során a repülési műveletektől származó zaj megítélését a légi járművek jellemzői mellett a környezeti adottságok is meghatározzák. A tapasztalati összefüggések és a vizsgálati eredmények figyelembe vételével a következőket állapíthatjuk meg:

- A megítélési zajterhelés az időegységre vetített (nappal 16 óra, éjjel 8 óra) egyenértékű szintek alapján a valóságban észlelt maximális zajszintnél [ $L_{max}$ ] jóval kisebb hangnyomásszintet jelent, ami a zajhatás értékelését és megítélését torzítja.
- A vizsgálati időre vonatkoztatott átlagos hangnyomásszintek és a maximális hangnyomásszintek közötti különbség mellett a repülési műveletekre jellemző frekvenciasávokban, tapasztalatunk szerint az  $f = 125\text{--}315$  Hz-en kimagasló hangnyomásszint értékek mutathatók ki.
- A 125 Hz-en és a 160 Hz-en jelentkező legnagyobb értékek a terjedési úton várt csillapodás mértékét rontják. Emiatt beépített területen az egyéb környezeti jellemzők hangterjedésre gyakorolt hatása, és a hangelnyelés nagyobb szerepet kap, míg a távolság zajcsökkenést eredményező hatása kisebb mértékű.

Az elvégzett vizsgálatok eredményeinek figyelembe vételével látható, hogy a légi járművekre vonatkozó zajszint adatok és az alkalmazott repülési eljárások mellett az egyes környezeti jellemzők és a beépítettség részletesebb elemzésére is szükség van a kialakuló hangtér megismeréséhez, és a várható zajterhelés minél pontosabb meghatározásához. A zajterhelést és a zavaró hatást a hangnyomásszint és a frekvencia jelleg együttesen határozza meg, ezzel együtt a mért hangnyomásszintekre jellemző frekvenciasávokban a környezet hangelnyelő hatása is kisebb.

A vizsgálati eredmények alapján kijelenthetjük, hogy a zajforrás és a védendő területek közötti távolság növelése csak részben hoz eredményt a zajterhelés csökkentésében. Az átrepülésektől származó zaj értékelése során az érintett területre jellemző átlagos hangnyomásszintek és a repülésektől származó hangnyomásszintek közötti különbséget is figyelembe kell venni.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] MUSTAFA H. ARAFA, T.A. OSMAN, IBRAHIM A. ABDEL-LATIF: Noise assesment and mitigation schemes for Hurghada airport, Applied acoustics.
- [2] 18/1997. (X. 11.) KHVM-KTM együttes rendelet „a repülőterek környezetében létesítendő zajgátló védőövezetek kijelölésének, hasznosításának és megszüntetésének részletes műszaki szabályairól”.
- [3] MSZ-13-183-3: 1992 számú szabvány „A közlekedési zaj mérése. Repülési zaj”.
- [4] BERA JÓZSEF: Repülési zajszintek változása, hatása a zaj észlelésére. Repüléstudományi közlemények, Szolnok, 2001/2, 137-143. o.
- [5] BERA JÓZSEF - DR. POKORÁDI LÁSZLÓ: A repülési zaj mérésének aktuális kérdései. Járművek 47. évfolyam, Budapest, 2000/1-2, 25-30. o.



## SZILÁRD MŰANYAGOK DINAMIKAI TULAJDONSÁGAI

A polimerek az elasztoplasztikus viselkedésű fémektől eltérően viszkoelasztikus viselkedésűek, és a következő jellemző tulajdonságokkal jellemezhetők:

- időfüggő viselkedés (kúszás, relaxáció, stb.),
- ciklikus vizsgálatoknál hiszterézis,
- erős hőmérsékletfüggés,
- nedvességtartalomtól függő mechanikai viselkedés.

Szilárd polimerek mechanikai viselkedésének matematikai leírásához idealizált reológiai anyagmodellek használhatók fel (ideális rugó, ideális viszkózus elem, stb.), amelyekből tetszőleges kapcsolásokkal állíthatók elő a legkülönbözőbb anyagtulajdonságokat (kúszás, relaxáció, stb.) leíró anyagegyenletek. A mechanikai modellelemekkel felírható reológiai anyagegyenletekkel vizsgálható a műanyagok dinamikai viselkedése is. A feszültség-deformáció függvényt, mint konstitutív anyagegyenletet a legáltalánosabb esetben a változók idő szerinti differenciálhányadosainak lineáris függvényeként lehet felírni, ahol  $E$  a rugalmassági modulusz [1]:

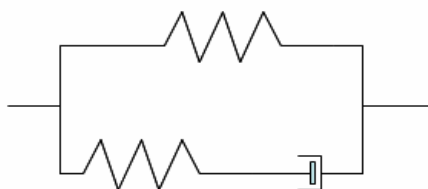
$$\sigma + a_1 \frac{\partial \sigma}{\partial t} + a_2 \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} + \dots + a_n \frac{\partial^n \sigma}{\partial t^n} + \dots = E\varepsilon + b_1 \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + b_2 \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial t^2} + \dots + b_n \frac{\partial^n \varepsilon}{\partial t^n} + \dots \quad (1)$$

Az elsőrendű differenciálhányadosok segítségével az ún. Standard-Solid test egyenletét, a másodrendű differenciálhányadosok segítségével pedig a Burgers test egyenletét kapjuk meg [2].

A következőkben a leggyakrabban használt reológiai modellelemek, a rugó és a viszkózus henger mellett a tehetetlenségi elem kombinálásával leírható néhány kapcsolást mutatunk be, amellyel a dinamikai tulajdonságok kényelmesebben vizsgálhatók. A plasztikus viselkedés jellemzésére szolgáló súrlódó elemmel ebben a dolgozatban az egyszerűség kedvéért nem foglalkozunk, valamint a hőmérséklet függést sem vizsgáljuk az egyszerűsítés érdekében.

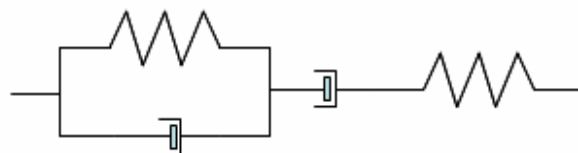
## REOLÓGIAI MODELLEK

A rugalmas test, a Hooke test reológiai modellje a rugó, a folyadék reológiai modellje a viszkózus henger (Newton test). Ezen elemek soros kapcsolásából kapjuk a Maxwell testet, párhuzamos kapcsolással pedig a Kelvin testet. Két rugó és egy viszkózus henger segítségével kapjuk a gyengén térhálós elasztomer (Standard-Solid test) modelljét (1. ábra.)



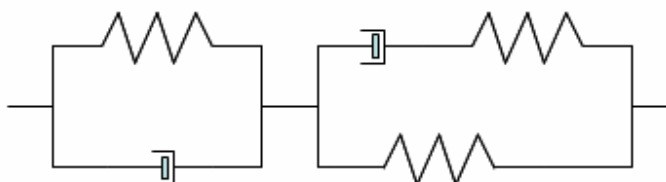
1. ábra

Egy Kelvin és egy Maxwell test soros kapcsolásakor kapjuk az ún. Burgers testet, amely az amorf termoplasztikus polimerek modellje (2. ábra):



2. ábra

Egy Kelvin és egy Standard-Solid test sorbakapcsolásával pedig az ötparaméteres test modelljét kapjuk (3. ábra):



3. ábra

A tehetetlenségi elem [2], [3] bekapcsolásával könnyebben el tudunk jutni az idő szerinti magasabb deriváltakhoz. Az elem egy véges tehetetlenségű, de zérus tömegű tárcsa, amely két rúd között megcsúszás nélkül gördül, és amelyre érvényes a Newton II. törvénye egy speciális alakja (4. ábra):

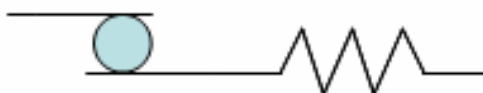
$$\sigma = \theta \ddot{\epsilon} \quad (2)$$



4. ábra

Ezen elem segítségével lehetséges a vizsgált anyagok tehetetlenségének figyelembe vétele, vagy bizonyos lengési jelenségek modellezése. Az alábbiakban néhány lehetséges kapcsolásra mutatunk példákat:

$$\sigma + \frac{1}{\omega^2} \ddot{\sigma} = \Theta \ddot{\epsilon} \quad (3)$$



5. ábra. Tehetetlenségi elem rugóval sorba kapcsolva

$$\sigma + \mathcal{I} \dot{\sigma} + = \Theta \ddot{\epsilon} \quad (4)$$





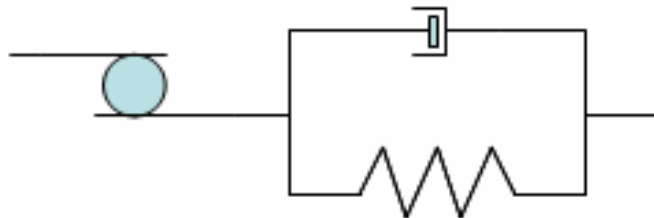
6. ábra. Tehetetlenségi elem viszkózus hengerrel sorba kapcsolva

$$\sigma + \mathcal{G}\dot{\sigma} + \frac{1}{\omega^2}\ddot{\sigma} = \Theta\ddot{\varepsilon} \quad (5)$$



7. ábra. Tehetetlenségi elem Maxwell testtel sorba kapcsolva

$$\sigma + \frac{1}{\omega^2}\ddot{\sigma} = \Theta\ddot{\varepsilon}$$



8. ábra. Tehetetlenségi elem Kelvin testtel sorba kapcsolva

Az egyenletekben szereplő paraméterek:

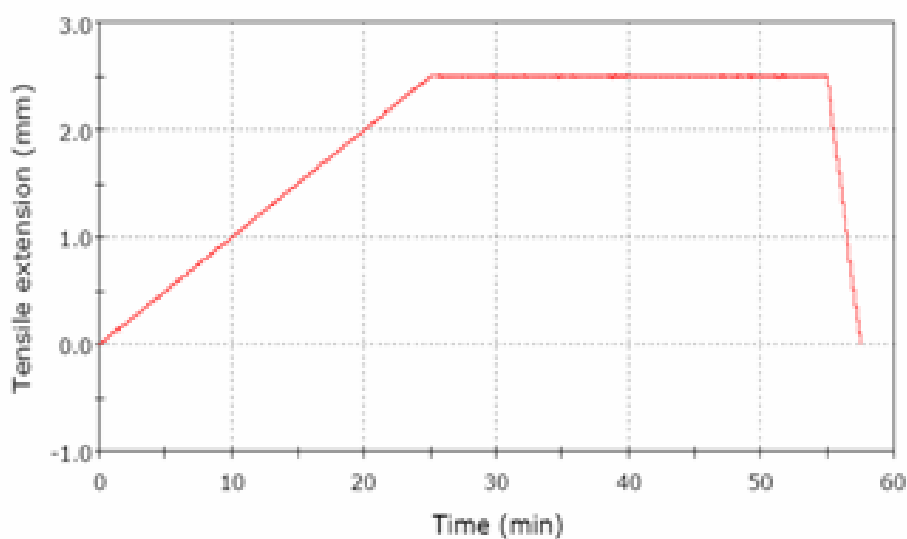
- relaxációs állandó ( $\mathcal{G}$ )
- tehetetlenségi nyomaték ( $\theta$ )
- körfrekvencia, ill. frekvencia ( $\omega = 2\pi f$ )

A felsorolt példák is azt mutatják, hogy e modell segítségével lehet modellezni a műanyagok rezgési jelenségeit is. A következőkben néhány kísérleti eredményt mutatunk be, amelyeket a DE ATC MK Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék, valamint a DE OEC Ortopédiai Klinikája által üzemeltetett Biomechanikai Anyagvizsgáló Laboratóriumban végeztünk az INSTRON 8874 típusú biaxiális anyagvizsgáló gépen KPE próbatesteken.

## RELAXÁCIÓS VIZSGÁLATOK

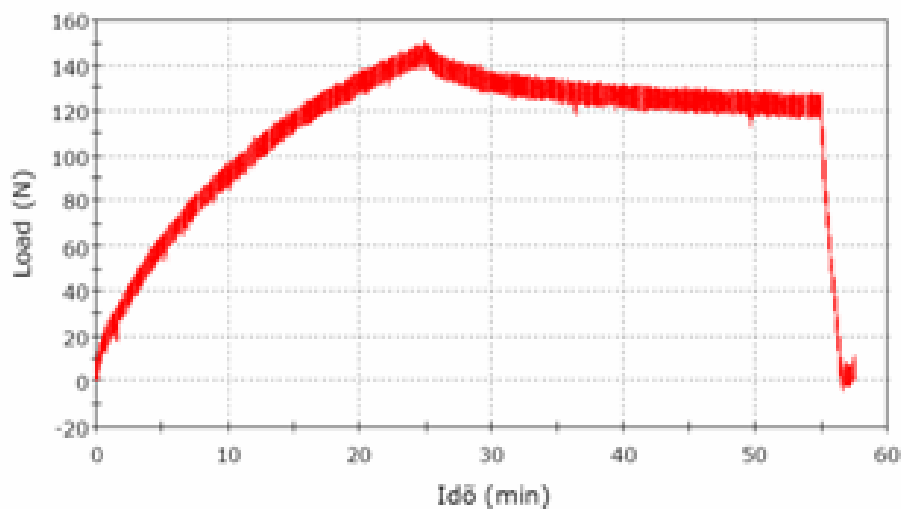
A vizsgálatok során a próbatesteket egyenletes terhelési sebességgel (0,1; 1; 10; 100; és 400 mm/perc) az eredeti jeltávolság 10 százalékáig terheltük, majd az alakváltozás befagyasztásával vizsgáltuk az feszültség relaxációját [4]. A 9. ábrán 0,1 mm/perc terhelési sebesség esetén a nyúlás- idő diagramot, a 10. ábrán pedig az erő-idő diagramot láthatjuk.

Relaxációs vizsgálat 0,1 mm/perc terhelési sebességnél



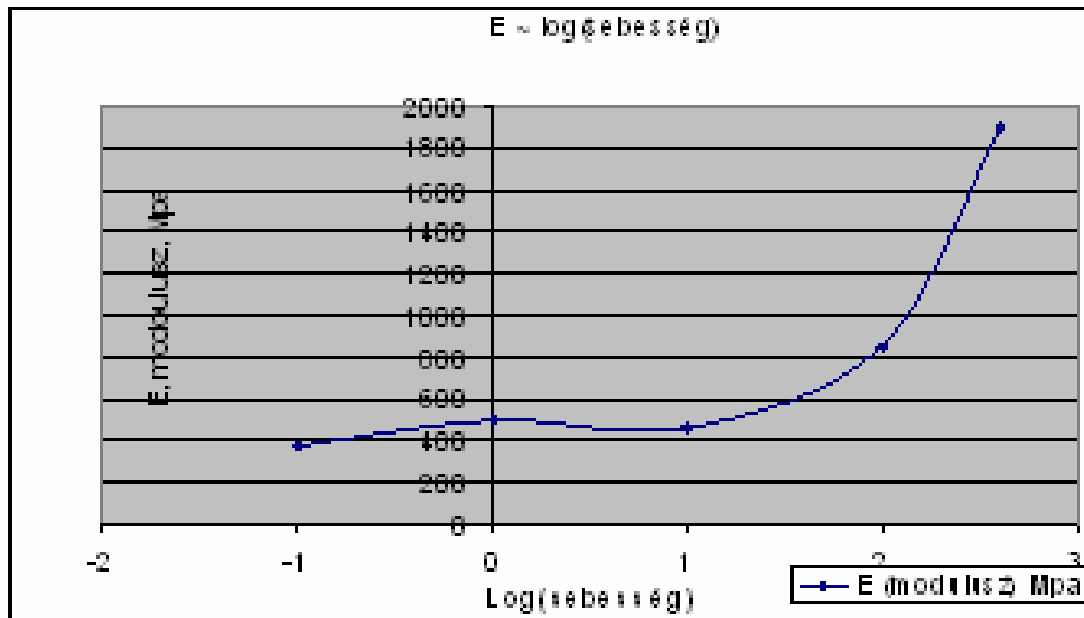
9. ábra

Relaxációs vizsgálat 0,1 mm/perc terhelési sebességnél



10. ábra

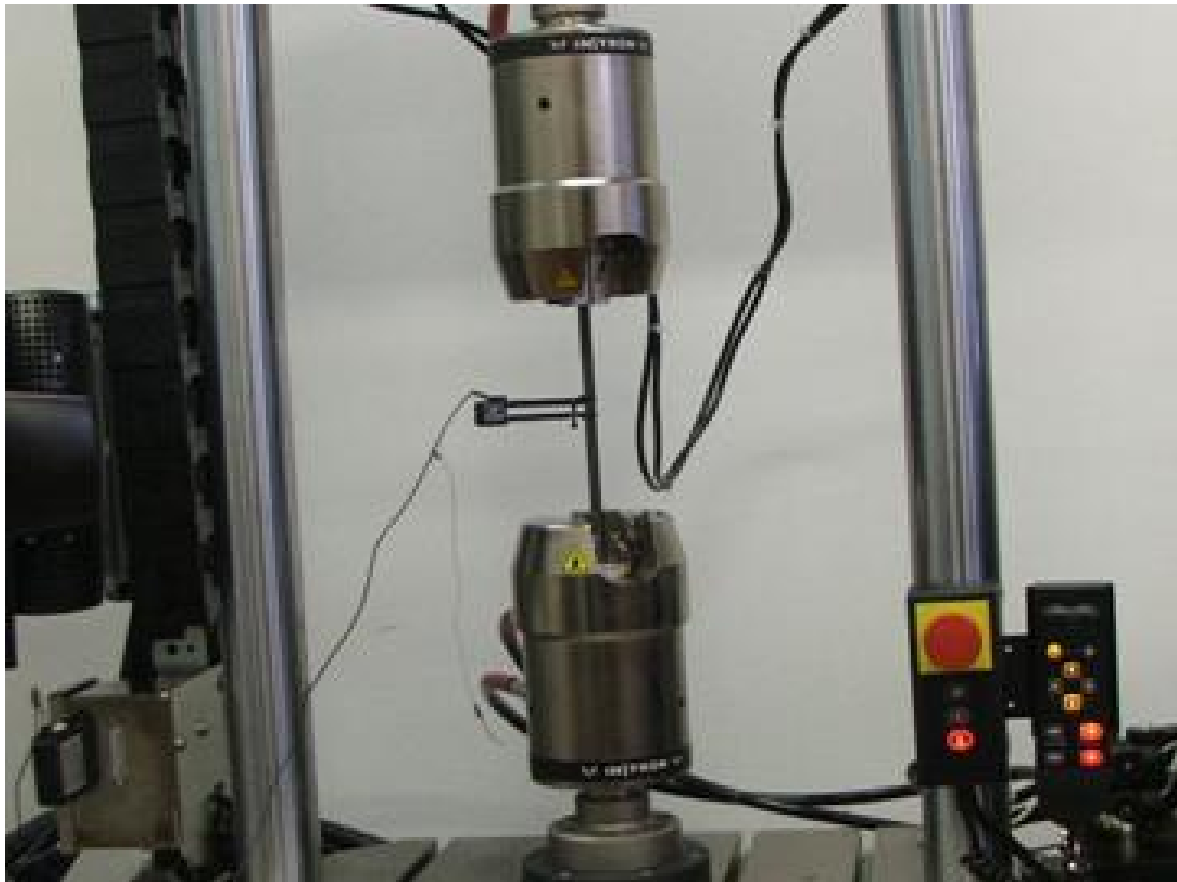
A 11. ábrán mutatjuk meg a rugalmassági modulusz függését a terhelési sebességtől, amelyből láthatjuk, hogy a rugalmassági modulusz a kis terhelési sebesség esetén megadott értékhez (~500 Mpa) viszonyítva annak a többszöröse is lehetséges (~1900 Mpa). A relaxációs eredmények teljeskörű feldolgozása és értékelése még a későbbi időkben fejeződik be..



11. ábra

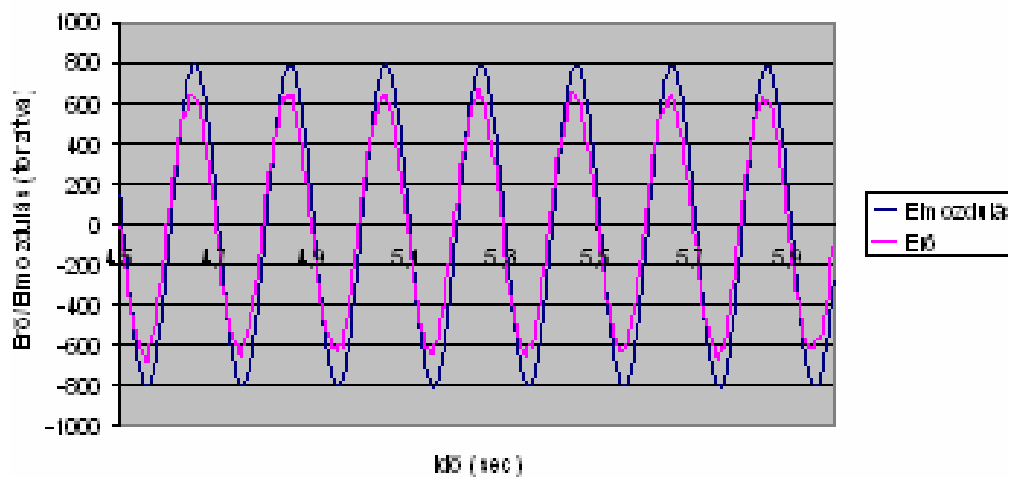
## MŰANYAG REZGÉS VIZSGÁLATOK

Ugyanezen az anyagvizsgáló gépen a fenti anyagból készített próbatesteken rezgés vizsgálatokat végeztünk. Különböző hosszúságú, 20 mm széles próbatesteket 10 %-ig előfeszítettünk, majd 5 Hz-es szinuszos gerjesztéssel rezgettük. A mérésről készített 1. fotón is láthatjuk, hogy a próbatestek közepére helyezett nyúlásmérővel 10 mm-es szakaszon mért nyúlás fázisát hasonlítottuk össze a gerjesztő erő fázisával. A 12. ábrán bemutatott kísérleti eredményből jól látható, hogy mennyiségileg jól meghatározható a fázis eltolódás mértéke. A kísérleteket folytatni kívánjuk olyan irányban is, hogy meghatározható legyen a gerjesztő erő frekvenciájától függően a fáziseltolás mértéke.



1. fotó

1/50 Előfeszített KPE 5Hz-es fárasztása



12. ábra

## ÖSSZEFOGLALÁS

A fent bemutatott kísérletek jól mutatják, hogy a DE ATC MK Biomechanikai Anyagvizsgáló Laboratóriumban kialakított mérési berendezésekkel a műanyagok számos dinamikai tulajdonsága jól vizsgálható. A továbbiakban tervszerű vizsgálatokat kívánunk végezni egyes műanyagok időtől függő paramétereinek a meghatározására relaxációs, kúszási és periódikus gerjesztésű terhelések esetén.

Hasonló méréseket tervezünk végezni emberi csontok tulajdonságainak a meghatározására is. A 2. fotón mutatunk be egy olyan kísérlet kialakítását, amely során egy emberi combcsontot nyomó terheléssel előfeszítettünk, és szinuszos gerjesztésű fárasztással a combcsont kihajlásának a gerjesztő erőhöz képest történő fáziseltolását vizsgáltuk. A kísérletek ígéretesek, és folytatódnak.



2. fotó

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] HALÁSZ László-ZRINYI Miklós: Bevezetés a polimerfizikába, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1989.
- [2] BODOR Géza-VAS László M.: Polimer anyagszerkezetan, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2001.
- [3] VERHÁS József: Termodinamika és reológia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985.
- [4] LAKATOS Ákos: Műanyagok a környezetvédelemben, Szakdolgozat, Debrecen, 2007.



## MUNKAKÖRELEMZÉS(I MINŐSÉGFEJLESZTÉSI PROJEKT) A JELLEGZETES EMBERI HIBÁZÁS MEGELŐZÉSÉRE LÉGIJÁRMŰVEK KARBANTARTÁSÁNÁL

A légi járművek, így az utasszállító repülőgépek biztonságos alkalmazását a magas színvonalú karbantartása eredményeként a légialkalmasság folyamatos fenntartásával lehet biztosítani. A legújabb légi járművek olyan anyagokat, hajtóműveket és elektronikus alrendszereket tartalmaznak, melyek a korábbi típusokban nem léteztek. Ezért a repülőgépszerelők munkája egyre bonyolultabbá és kimerítőbbé válik, a szakmai tudás növekedésének igénye mellett a karbantartások jelentős része továbbra is emberi közreműködéssel, nehéz munkakörülmények között kerül végrehajtásra.

Az emberi tényező fontosságát jelzi, hogy az emberi hibázásból eredő balesetek száma 4:1-hez aránylik a műszaki okból bekövetkezett balesetekhez, repülőeseményekhez. A jelenlegi statisztikai adatok szerint az emberi hibázásból bekövetkező balesetek 6%-át okozzák karbantartási hibák, míg az ilyen jellegű hibák további 12-15% esetén közrejátszanak a balesetek kialakulásában. Az okokat vizsgálva jelentős kockázat, ha a dolgozók nem készültek fel megfelelően a technika szakszerű üzemeltetésére, ismereteik felszínese, nincsenek tisztában egy berendezés működésével, hiányoznak a viselkedési minták, hézagos a kapcsolatrendszerük, akadozik az információk folyamata a helytelen szervezési megoldások miatt. Karbantartási hibák tehát nem csak az eseményt kiváltó konkrét hiba, hanem az érintett személyre valamint munkahelyi-, szervezeti- és környezeti hatásokra visszavezethető rejtett okok hatására jön létre. A munkakörben elkövethető hibák kockázatainak mérlegeléséhez fontos megállapítanunk, hogy a munkakör milyen követelményeket támaszt az ott dolgozóval szemben. A megfelelést az emberi tényezők ismerete és értékelése segíti, mely által növekszik a karbantartás minősége, és ezzel együtt csökken a légi jármű karbantartása közben elkövethető emberi hibázások száma.

### KÖVETELMÉNYEI AZ EMBERI TÉNYEZŐKKEL KAPCSOLATOSAN LÉGIJÁRMŰ KARBANTARTÓ SZERVEZETEK RÉSZÉRE

Az EASA a 2003. november 20-i 2042/2003/EK bizottsági rendelet **Part 145** című részében meghatározottak szerint irányítja és felügyeli azon légi jármű karbantartó szervezetek működését, amelyek forgalmi- és báziskarbantartások végrehajtásával biztosítják a folyamatos légialkalmasság fenntartását. Ennek során a légi jármű karbantartó szervezet az illetékes légiközlekedési hatóság által jóváhagyott eljárás és rendelkezések szerint megállapítja és ellenőrzi a karbantartásban, irányításban és/vagy minőségügyi auditokban résztvevő alkalmazottai alkalmasságát. A munkakör ellátásához szükséges szakértelem mellett, az alkalmasságnak ki kell terjednie az emberi tényező és a teljesítőképesség jelentőségének az adott személy szervezetben betöltött funkciójához szükséges mértékű megértésére.

Fontos megjegyezni, hogy az emberi tényezőknek ilyen mértékű felértékelődése a minőségközpontú menedzsment-rendszerek sajátja is, amelyek közül kézzelfoghatóan a TQM (Total Quality Management) rendszerben jelenik meg. A TQM köztudottan a munkatárs meglévő képessége és készsége megléte mellett az emberi tényezőkre, a felhatalmazásra, a bizalomra, a folyamatos fejlesztésre, a munkatársak egymásrautaltságára, a team-munkára alapozva alakítható ki egy szervezetnél, annak ellenére, hogy a valóságot sokszor a standardizált, széttagolt rutinmunkával, a beépített ellenőrző mechanizmusokkal jellemezhetjük és a csoportnak az ellenőrző, fegyelmező szerepe dominál.

Az EASA Part 145 előírás megköveteli, hogy a légijárművek karbantartásában érintett személyek (nemcsak a szakszolgálati engedéllyel ellátott repülőgépszerelők), kötelesek az emberi tényezőkkel foglalkozó **alap-** és **ismétlő** tanfolyamokon részt venni. Ezek a tanfolyamok - gyakorlati példákön keresztül - az emberi tényezőkkel kapcsolatos ismereteket, valamint az emberi hibázások kezelésének módját mutatják be a légijárművek karbantartási folyamataival összefüggésben.

Az alaptanfolyam hossza és tartalma az érintett állomány beosztásához (munkaköréhez) igazodik, míg az ismétlő tanfolyam az emberi tényezőkkel kapcsolatos ismeretek felfrissítésére és a légijárművek karbantartása során bekövetkezett emberi hibázások elemzésére irányul. Az alaptanfolyamot az EASA Part 145 engedéllyel rendelkező légijármű karbantartó szervezethez való belépést követő első hat hónapon belül, míg az ismétlő tanfolyamot az alaptanfolyamot követő minden két éven belül legalább egy alkalommal kell megtartani.

Az alaptanfolyam az alábbi témakörökbe sorolható ismeretek oktatására irányul:

- az emberi tényező bemutatása;
- biztonsági kultúra / szervezeti tényezők hatása;
- az emberi hibázás és a hibázások hatása;
- az emberi teljesítőképesség és annak korlátai;
- a munkakörnyezet szerepe;
- a légijárművek karbantartásánál alkalmazott eljárások, információk, eszközök és gyakorlat;
- a kommunikáció jelentősége;
- a csoportmunka fontossága;
- szakmaiság és szavahihetőség;
- az emberi tényezőkre visszavezethető működési rendellenességek az adott karbantartó szervezeten belül.

Ha végignézzük ezt a felsorolást könnyen találhatunk kapcsolatot az EASA Part 145 előírás és a 6 szigma<sup>1</sup> között. Gyakorlatilag egyik minőségügyi irányzatnál sem tapasztalható olyan széleskörű és mély oktatási tevékenységet, mint a 6 szigma-nál, ahol a vállalat minden tagja kap valamilyen képzést a lehető legkevesebb hiba elérése érdekében. Ugyanakkor a 6 szigma a gyártás, szolgáltatás nagy mennyiségéből, azoknak a hasonlóságából, tehát a megismételt folyamatok hibamentességét, műszaki tűréshatáron belül tartását tűzi ki célul. Ennek a célnak az eléréséhez, eszközeként, a szabályozottság minden körülmények között fenntartását és a képesség (gép-, folyamat-, mérőeszközképesség) biztosítását alkalmazza. Természetesen a már említett TQM alapelveket – az MSZ EN ISO 9001:2001-el együtt – a 6 szigma is vallja (pl. vevőközpontúság, vezetés felelőssége, munkatársak bevonása, stb.), ezért a 6 szigma programra úgy tekinthetünk, mint a TQM-hez vezető egyik lehetséges út. Felmerül a kérdés, hogy azoknál a folyamatoknál ahol a fő jellemző nem a tömegszerűség hanem egyedi gyártás szolgáltatás és annak minősége alkalmazható-e egyáltalán valamilyen statisztikai értékelésen alapuló minőségjavítás vagy nem. Erre P.B.Crosby [1] minőségfelfogásában találunk magyarázatot, akinek alapvető minőségszemlélete az, hogy a minőséget a vezetőség tevékenysége határozza meg, és a minőség az nem más, mint a követelményeknek való megfelelés. Ez azt jelenti, hogy az EASA Part 145 előírás pont ezeket a követelményeket foglalja össze az emberi tényezőkkel kapcsolatosan, célul tűzve a karbantartás közben elkövetett hibák elfogadható kockázati szint alá történő csökkentését.

Az EASA Part 145 szerinti oktatás filozófiája kiemelten kezeli a biztonsági kultúra tárgykörben, hogy abszolút biztonság és ezáltal 0 hibázás nem létezik, ellentétben P.B.Crosby minőségfelfogásával aki egyértelműen a szervezeti működés 0 hibáját tűzte ki célul. Azóta kiderült és több helyen bizonyítást is nyert elfogadható kockázattal számolnunk kell, ami napjainkban egymillió repülésre

---

<sup>1</sup> A matematikai statisztikában a "szigma" a szórást jelöli. A 6 szigma módszer a folyamatjavítás egyik eszközeként a szórás csökkentésére törekszik. Nevezetesen: a szigmát a folyamat teljesítményének mérésére használják olyan szempontból, hogy mennyire sikerült a hibamentes eredményt elérnünk. A hiba mindaz, ami kiváltja a fogyasztó elégedetlenségét, például a vevői elvárásokat nem teljesítő termék, a gyenge minőségű szolgáltatás vagy a nagy ár.

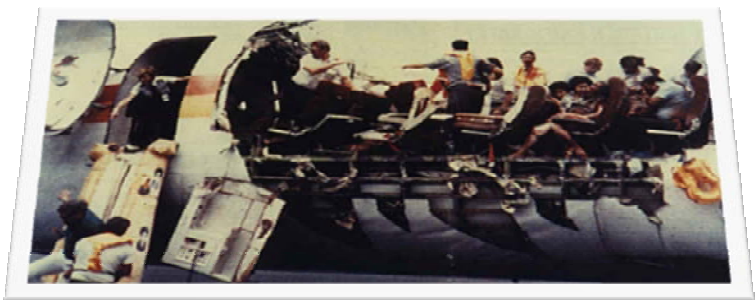


vetítve 2-3 olyan repülőbalesettel számol, ami emberáldozattal jár (ez 99,999997%-os megfelelésnek, és közel 5 szigma minőségnek felel meg). Cél, hogy ez a szám az elkövetkező 10 évben egy nagyságrenddel csökkenjen (0,2-0,3 npmo/ppm<sup>2</sup> ebben az esetben mutató jóval meghaladja 5 szigma minőség értékét).

## JELLEGZETES, EMBERI TÉNYEZŐRE VISSZAVEZETHETŐ KARBANTARTÁSI HIBÁK

Cicero közismert megállapítása szerint: „Tévedni emberi dolog”. A hibázás képessége született tulajdonsága minden emberi lénynek és sohasem szüntethető meg teljeskörűen. Mint mindannyian, még a legképzettebb emberek is követhetnek el váratlan hibákat, akár több tucatot is naponta. Ezért gyakran hallható: „Mindenkinek joga van tévedni, senki sem tökéletes.” Elkerülhetetlen, hogy néha egy-egy hiba csússzon akár az előkészítésbe, akár a kivitelezésbe. De nem mindegy, hogy a hibának mekkora és milyen természetű következményei vannak. A légiközlekedésben a hibák megengedhetetlenek, hiszen azok katasztrófához is vezethetnek. Viszont az, hogy "megengedhetetlen", nem jelenti azt, hogy nem is történik meg. Néhány nagy visszhangot kiváltó jellegzetes hiba:

1988-ban az Aloha Airlines B737-200 típusú repülőgépén, 24000 láb magasságon levált a törzs felső részének egyharmada. A balesetet több mint 240 darab fel nem ismert repedés idézte elő. A kivizsgálás egy sor, az emberi tényezőkkel összefüggő hiányosságot állapított meg. Ezen okok miatt nem ismerték fel a balesethez vezető hiányosságokat.



A baleset 1990-ben történt, amikor a birmingham-i repülőtérrel felszálló BAC 1-11 gép elérte az 5100 m magasságot. A járat előtt kicserélt baloldali homloküveg, az adott magassághoz tartozó túlnyomás hatására kirepült a helyéről, mivel az ablak rögzítésére szolgáló 90 db csavarból, 84 db csavar átmérője kisebb volt az előírtnál.



Egy A320 típusú repülőgép, a jobboldali külső fékszárnynon végrehajtott cserét követő első repülése során, a pilóták szándékától függetlenül intenzív jobb dőlésbe kezdett. A jelenség a jobboldali áramlásrontó lapok állandósult kitértett helyzete miatt jött létre.



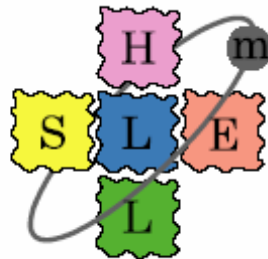
A légiközlekedési baleseteket

<sup>2</sup> Az egymillió hibalehetőségre jutó nemmegfelelőségek száma, azaz milliomodrász.

kivizsgáló angol testület (AAIB) jelentéseinek felülvizsgálata a BAC 1-11, A320 & B737 esetek kapcsán a következőket állapította meg:

- az összes hibázás éjszaka következett be;
- a felügyelők elhúzódozó kétkézi munkát végeztek;
- félbeszakítás;
- hibázás a jóváhagyott műszaki előírások / vállalati eljárások használata során;
- kézikönyvek összetévesztése;
- műszak vagy feladat átadás;
- időnyomás;
- kevés létszám;
- berendezés, alkatrész és felkészülési hiányosságok;
- magabiztos viselkedés.

Ha rendszerelméleti keretben gondolkodunk, és a légijárművek karbantartását egységes rendszerként tekintjük, akkor annak egyes elemei szorosan összefüggnek egymással és tulajdonságai ezeknek az összefüggéseknek a figyelembevételével érthetők meg [2]. E rendszeren belül a CAP 715 [3] (Civil Aviation Publications) nyomán négy alrendszer különíthető el (1. ábra), de nyugodtan odatehetjük az 5. (m) alrendszert ami az elkötelezett menedzsment szerepét jelöli.



1.ábra A menedzsmenttel kiegészített modell

A SHEL modell összetevői:

S. a karbantartási eljárásokat és kézikönyveket, a karbantartási ütemtervet, egyéb írott és íratlan szabályokat tartalmazó Software;

H. a légijárművet, a szerszámokat, a mérőeszközöket, a javító anyagokat, alkatrészeket, stb. tartalmazó Hardware;

E. a hangárt, a forgalmi karbantartás feltételeit, a munkahelyi feltételeket, a vezetés összetételét, az irányítási struktúrát, stb. magába foglaló munkakörnyezet (Environment);

L. a rendszer negyedik eleme maga az ember a saját fizikai, pszichés és pszichofiziológiai jellemzőivel (Lifeware), aki a modell középpontjában elhelyezkedve, kapcsolatban áll más emberekkel (Lifeware) is;

m. a minőségért elkötelezett menedzsment. (A Japán haditengerészet külön foglalkozik a menedzsment szerepével (m-SHEL néven) a rendszerek és az operátorok együttműködésének értékelésekor [4])

A SHEL modellből következik, hogy az ember és munkakörnyezetének vizsgálata nem csupán a dolgozót (adott esetben a repülőgép-szerelőt) körülvevő fizikai környezeti tényezőket jelenti, hanem a munkavégzés során használt eszközöket, anyagokat, továbbá a munkamódszert, a munka szervezetét akár egyéni, akár csoporton belül végzett munkáról van szó. Tehát amikor a munkakörben elkövethető hibák kockázatait mérlegeljük akkor fontos azt megállapítanunk, hogy a munkakör (beosztás) milyen követelményeket támaszt az ott dolgozóval szemben, és a konkrét dolgozó ezeknek a követelményeknek mennyire felel meg [5]. Mindezek kapcsolatban vannak magával az emberrel: a képességeivel, a lehetőségeivel és a korlátaival. A következő fejezet ezen követelmények meghatározásának módszerét mutatja be.

## A MUNKAKÖRELEMZÉS MÓDSZERE

A homogén munkahely a repülőgép karbantartó cégeknél azon munkahelyeinek összessége, amelyek az ott dolgozóval szemben azonos követelményeket támasztanak. A homogén munkahelyek, beosztások különféle követelményeket támasztanak az ott dolgozóval szemben. Minden munkahelyen:

- felkészültséget igénylő,
- fizikai terheléseket kívánó,
- kommunikációkészséget igénylő,
- felelősséget támasztó,
- feladat és problémamegoldást tartalmazó,
- különleges személyi tulajdonságok megkövetelő,
- vezetési és irányítási képességeket előtérbe helyező,
- a folyamat minőségéhez való lényegi hozzájárulást igénylő,
- technikai eszközök alkalmazásának képességét, és jogosultságát igénylő

követelményeket lehet meghatározni az ott dolgozóval szemben.

Igen nehéz objektíven mérni az emberi teljesítményt, ha az nem az ipari mutatószámok alapján (db/óra stb.) történik. Minden esetre valamennyi ismert értékelési eljárásban közös, hogy az értékelést előre tisztázott követelmények szerint és az annak való megfelelés szerint kell elvégezni. Az ipari homogén munkahelyeken a követelményeket megállapítani és azt mérni úgy is lehet, hogy meghatározzuk, hogy a munkahely (beosztás) milyen követelményeket támaszt a dolgozóval szemben, majd megnézzük, hogy a dolgozó ezeknek a követelményeknek mennyire felel meg, milyen színvonalon teljesíti azokat.

A repülőgép karbantartás alapvető minőségi mutatója, hogy az egyes munkakörökben, feladatokat ellátó dolgozók milyen teljesítményt nyújtanak munkájuk során ezért a homogén munkahelyek értékelésének célja az, hogy megállapítsuk a munkahely, munkakör relatív értékét, lehetővé téve az egyes munkahelyek, munkakörök rangsorolását, az emberi tényezők fontosságának szempontjából.

Meghatározható a munkahely relatív értéke az adott szervezeten belül és ez alapján a munkahelyek összehasonlíthatóak. A EASA Part 145 előírás egyértelműen megfogalmazta, hogy szükséges az egységes teljesítményértékelés a karbantartás valamennyi területén. Az értékelés csak úgy végezhető el, ha ismert a munkahelyek összes azonossága és meghatározható azok különbsége is. Tehát abban az esetben értékelhető az emberi tényező a konkrét munka, konkrét beosztásban, konkrét helyszínen, ha ismert, hogy a konkrét beosztás milyen követelményt támasz az ott dolgozóval szemben.

Az értékelés elvégzéséhez a homogén munkahelyeket, beosztásokat a karbantartó szervezet egységei saját maguknak határozzák meg. Ezután a munkahelyeket, beosztásokat csoportosítani kell annak érdekében, létrehozassunk azonos jellemzőkkel meghatározható csoportokat (pl sárkány szerelő munkahelyek, hajtómű diagnosztizáló munkahelyek, anyagvizsgáló munkahelyek). Ezeket nevezzük homogén munkahelyeknek. Itt jegyzem meg, hogy ha az adott homogén munkahely értékelésekor pontokkal kifejezhető eltérést tudunk kimutatni a csoportba tartozó munkahelyek között, akkor azt a homogén munkahelyet tovább kellett bontani (anyagvizsgáló kifáradásra, törésre, rezgésre stb.).

Az egyes homogén munkahelyek értékének megállapításához szükséges, hogy a szervezet előre meghatározza, hogy mennyire értékes számára egy-egy homogén munkahely által támasztott követelmény teljesülése. Ennek meghatározásához célszerű egy csapat értekezletet tartani, ahol meghatározásra kerülnek a főkövetelményfajták, és a hozzájuk tartozó maximális értékek. Ezt úgy kell meghatározni, hogy a csapat által összeállított főkövetelmények értékének összege 200 pont legyen. A 200 pont főkövetelményenkénti felosztását a főkövetelmények páros-összehasonlításával végezzük melynek fő lépései az alábbiak:

- Párok képzése a főkövetelményekből.
- Valamennyi párt véletlenszerűen elrendeztünk egy papírlapon egymás alá (10 főkövetelmény esetén az összes lehetséges páros száma 45).
- Az értékelést végző csoporttagok külön-külön a párok mindegyikénél aláhúzással jelölik az általuk fontosabbnak ítélt tényezőt.

- Az értékeléseket a 1. táblázathoz hasonló preferencia-mátrixon összesítjük. A preferencia-mátrix soraiban és oszlopaiban az értékelési tényezők szerepelnek. A sorban szereplő értékelési tényezőt összehasonlítjuk az oszlopokban felsoroltakkal, s ahol a sorban lévő preferált az oszlopban szereplővel szemben, oda 1-et írunk, ahol hátrányt szenved, oda 0-át. Így az egy sorban lévő egyesek száma azt jelenti, hányszor preferált az adott értékelési tényező összesen. Az oszlopban szereplő érték pedig a hátrányok számát mutatja.

Preferencia mátrix

1. táblázat

FK <sub>0</sub>	FK <sub>1</sub>	FK <sub>2</sub>	FK <sub>3</sub>	FK <sub>4</sub>	FK <sub>5</sub>	FK <sub>6</sub>	Hányszor preferált
FK <sub>1</sub>	x	0	1	1	1	0	3
FK <sub>2</sub>	1	x	0	1	1	0	3
FK <sub>3</sub>	0	1	x	1	1	0	3
FK <sub>4</sub>	0	0	0	x	1	0	1
FK <sub>5</sub>	0	0	0	0	x	0	0
FK <sub>6</sub>	1	1	1	1	1	x	5
Σ	2	2	2	4	5	0	15

- A konzisztencia vizsgálat során a csapat tagok következetességét értékeljük. (Inkonzisztens az ítélet akkor, ha  $A > B$ ,  $B > C$ , de  $A < C$ .)
- Azoknak a csapattagoknak a preferencia-mátrixából akiknek a konzisztenciája legalább 90%-os összeállítjuk az összesített preferencia-mátrixot.
- Százalékos súlyszám képzéssel meghatározzuk főkövetelmények pontértékét.

A 2. táblázat egy elvégzett páros-összehasonlítás eredményeit mutatja.

Főcsoportok páros összehasonlításának eredményei

2. táblázat

Főcsoportok	Team tagok véleménye	Összeg	Arány	Pont
Felkészültség	9 7 6 6 5 6 7 7 8 7 6 7 9 8 9 9 9 9 9 7 9 9 7 8 9 6 7 7 0	227	17%	34
Terhelés	6 8 4 4 4 4 3 5 6 6 4 6 4 7 5 5 3 7 4 2 3 4 6 5 3 5 6 3 2 1	137	10%	20
Kapcsolattartás	2 6 6 5 5 4 2 6 6 6 5 9 5 5 3 5 4 2 7 4 5 5 4 7 4 6 5 5 1 8	147	11%	22
Felelősség	8 4 3 4 7 2 7 3 3 2 5 3 8 2 8 5 5 4 5 8 7 7 5 6 5 6 7 8 6 5	158	12%	23
Feladat és problémamegoldás	6 4 8 8 8 7 6 6 6 7 8 4 4 5 4 7 6 7 8 5 5 6 7 9 7 4 3 4 6 0	181	13%	27
Személyi tulajdonságok	5 8 9 8 7 6 9 9 9 9 8 8 7 9 7 8 8 7 6 7 9 6 8 3 9 4 7 7 8 9	224	17%	33
Vezetési és irányítási képességek	4 2 5 7 4 8 6 4 3 3 6 5 3 3 6 3 7 4 3 6 6 5 3 4 3 2 5 8 8 1	139	10%	21
Minőségügyben betöltött szerep	3 1 1 1 1 1 4 1 1 2 1 1 4 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 3 4	46	3%	7
Technikai eszközök	2 5 3 2 3 7 1 4 3 3 2 2 1 5 2 2 1 4 2 3 2 2 2 3 5 7 5 2 3 1	89	7%	13
ÖSSZESEN		1348	100%	200

Ezután következik a főkövetelményfajták további bontása, melynek eredményeképpen végső értékelési táblázat (lásd 3. táblázat). Ez a táblázat csak akkor fogadható el, ha a csapat közös megegyezésével (konszenzusával) születik, és minden tagja a végső formájában is elfogadja azt.

Az értékelésnek az alábbi főkövetelményre mindenképpen ki kell térnie:

- Ismeretekre: a tudásszint megállapításakor a beosztás ellátásához szükséges szakmai ismeretek ( munkaismeret<sup>3</sup>, képzettség<sup>4</sup>, tapasztalat<sup>5</sup>) színvonalát kell értékelni. Az

<sup>3</sup> A munkaismeret a feladat elvégzéséhez szükséges ismeretek mélységét és terjedelmét állapítja meg.

<sup>4</sup> A képzettség az ellátandó munkafeladathoz szükséges iskolai végzettséget mérte.

<sup>5</sup> A tapasztalat, valamint a szakirányú gondolati és megítélési képesség a folyamatokhoz való értést és átfogó ismeretet jelent, azt a komplex tudás mértékét jelöli, amely szükséges lehet a teljes folyamat értéséhez. Ha a beosztás ellátásához nem szükséges, akkor természetesen a beosztás értékelésében is ily módon van figyelembe véve.

ismeretek tekintetében a legmagasabb értékeket a vezetői tevékenységet folytató beosztások és a specialisták beosztásai érhetik el. A legtöbb homogén munkahely esetében változatlan paraméterekkel folytatódik a tevékenység. Ahol az információk változnak, ott ezt a bonyolultság paraméter értékeivel kell figyelembe venni.

- **Alkalmasságra:** Az Alkalmasság követelményfajta, a fizikai alkalmasságot és az adottságokat valamint a speciális alkalmasságot, képességet veszi figyelembe (pl. mesterlövész), melyek a munkafeladat ellátásához szükségesek. A fizikai alkalmasság körében külön kell értékelni a monotónia, egyhangúságtűrést. Az adottságok követelményfajta külön tartalmazza a vezetőkre vonatkozó egyéb kívánalmakat is. A munkafeladatok ellátásához a legtöbb munkahelyen speciális képességek nem szükségesek.
- **Felelősségre:** A Felelősség követelményfajta az eszközökért, minőségért, erőforrásokért, mások munkájáért és biztonságáért, valamint az adatokért való felelősséget értékeli. A felelősség a beosztásnak megfelelően kerül megállapításra, így minél bonyolultabb a feladat, annál magasabb pontszámot lehet elérni. Természetesen jelentkezik, hogy ha a beosztás irányítói területet jelöl, akkor szinte maximális értéket lehet elérni.
- **Munkaterhelésre:** A Munkaterhelés az energetikai és az információs-mentális munkavégzésből adódó terhelést értékeli a munka szintjének megfelelően. Külön el kell ismerni a tevékenységek elemzésénél a kreativitást igénylő munkafeladatokat, csakúgy, mint az információszegény munkavégzést, mely fokozott pszichikai terhelést jelent a munkát végző ember számára.
- **Környezeti hatásokra:** A Környezeti hatások figyelembe vételénél pozitív diszkriminációt kell alkalmazni, tehát ha felmerült valamilyen terhelés, akkor már az egészségügyi határértékek alatt is figyelembe kell venni és értékelni a különböző hatásokat.

Ezután következik a homogén munkahelyek felmérése, vagyis annak meghatározása, hogy az egyes követelményfajták az adott homogén munkahelyre mennyire jellemző. Az értékelést (a pontokat) legalább három (két belső egy külső) szakértő határozza meg. Véleményeltérés esetén az adandó pontot egyhangú megállapodással (tehát nem szavazással) kell meghatározni, így az adott pontszámok a szakértők teljes egyetértésének eredménye. A szakértőknek célszerű az egyes követelményfajtákat tovább bontani azért, hogy az értékelés minden munkahely esetén azonos legyen.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az ember központi szerepet játszik a légijárművek karbantartásában. A karbantartási feladatok ellátására a vezetők és a beosztottak döntéseket hoznak, amelyeket az egyéni ismeretbázisuk és szakmai gyakorlatuk befolyásolja legnagyobb mértékben. Ahhoz, hogy ezek az ismeretek és a meghozott döntések valóban csökkentsék a repülésbiztonságra vonatkozó kockázatot szükség van alap- és ismétlő tanfolyamokra.

A karbantartási munka teljesítményét úgy is lehet mérni, hogy meghatározzuk, a munkahely (beosztás) milyen követelményeket támaszt az ott dolgozóval szemben, és a munkatárs ezeknek a követelményeknek hogyan felel meg, milyen színvonalon teljesíti azokat. Az előadás ennek módszerét mutatja be.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

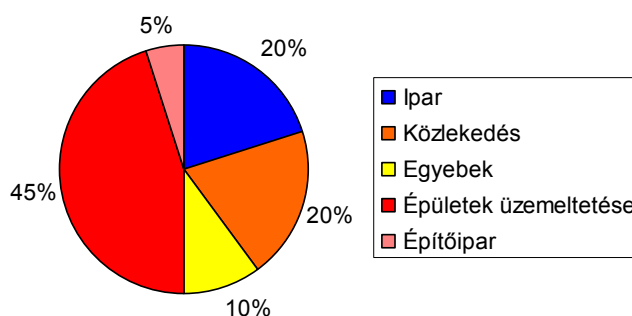
- [1] CROSBY, Philip B. : Quality is Free – if you understand it Charman and CEO, Philip Crosby Associates II, Inc. ([www.philipcrosby.com](http://www.philipcrosby.com))
- [2] PÉCZELY György: A karbantartás korszerű irányzatai Karbantartás és Diagnosztika 2000/2 (július)
- [3] CAP 715: An Introduction to Aircraft Maintenance Engineering Human Factors for JAR 66
- [4] Hiroko ITOH, Nobuo MITOMO, Takeshi MATSUOKA, Youji Murohara: An Extension of m-SHEL Model for Analysis of Human Factors at Ship Operation In proc. of the 3rd International Conference on Collision and Groundings of Ships (ICGS 2004) pp.118-122, Izu, Japan, October 25-27 2004.
- [5] HUSI Géza – KISS BACSÓ László – MIKULA Gyula: A munkaértékelés gyakorlata az általunk kidolgozott BAHUMI módszerrel, Debreceni Egyetem Műszaki Főiskolai Kar, Tudományos közlemények III/1 szám, Debrecen, 2004.



## FŰTÉSI RENDSZEREK GEOTERMIKUS HŐFORRÁSRÓL

### 1. BEVEZETÉS

Az emberi társadalom fenntartható fejlődésének a biztosítása, a Föld népességének a növekedését is figyelembe véve, csak a globális energiafelhasználás megtöbbszörözésével lehetséges. A fosszilis tüzelőanyagok jelenleg a globális energiaigény mintegy 80 % -át fedezik [7]. A nagy mennyiségű fosszilis tüzelőanyag elégetése szignifikáns CO<sub>2</sub> termelést jelent. Ezért az energiamegtakarítás, mindegyik energiafelhasználó ágazatban, napjaink egyik alapvető célkitűzése. A világ energiafogyasztásának szektoronkénti megoszlását az 1. ábra mutatja be [8]. Az épületek üzemeltetésének energiafelhasználása főként demográfiai és gazdasági tényezőktől függ, beleértve a háztartások számát, jövedelmek szintjét, a lakások méretét, a lakók számát egy átlagos lakásban, de természetesen figyelembe kell venni az éghajlati és a kulturális tényezőket is.



1. ábra A világ energiafogyasztásának megoszlása

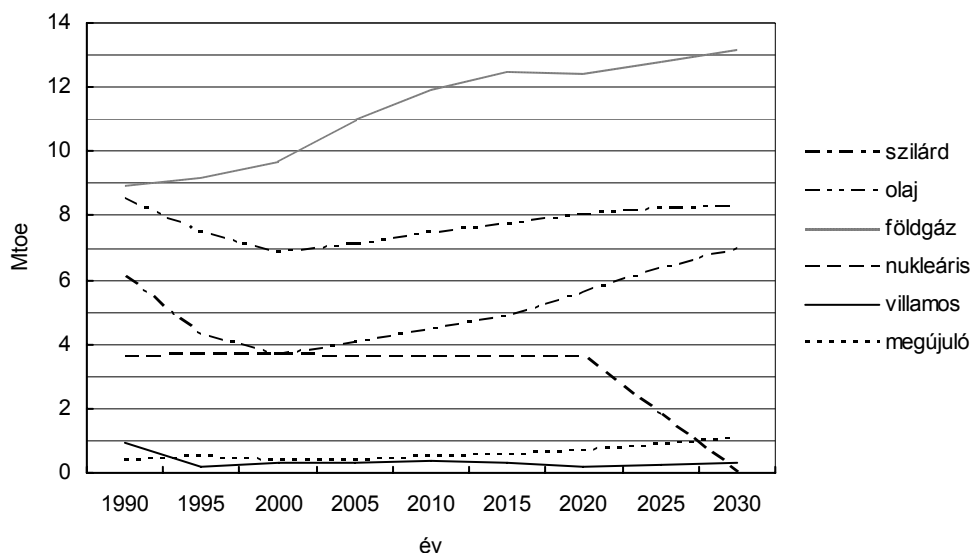
Az épületek üzemeltetésének energiafelhasználása főként demográfiai és gazdasági tényezőktől függ, beleértve a háztartások számát, jövedelmek szintjét, a lakások méretét, a lakók számát egy átlagos lakásban, de természetesen figyelembe kell venni az éghajlati és a kulturális tényezőket is.

### 2. ENERGIAFOGYASZTÁS MAGYARORSZÁGON

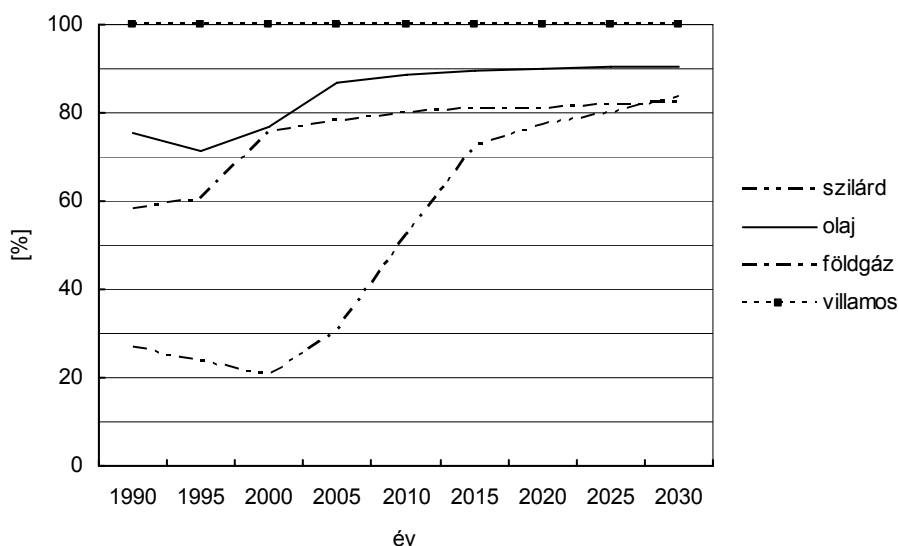
Magyarország összes energiafelhasználása a 2000 évben 15,85 Mtoe-nek felelt meg [7]. A fosszilis tüzelőanyag elégetéséből származó CO<sub>2</sub> a 2000 évben 53,7 Mtonna, amiből az épületek üzemeltetése 8,3 Mtonnát „termelt”. Ez egy csökkenést jelent ebben a szektorban, hiszen 1990-ben a CO<sub>2</sub> kibocsátás elérte a 14,1 Mtonnát [7]. Az összes energiamennyiségnek az előállítására felhasznált energiahordozók megoszlását és időbeli változását az előrejelzések szerint, [7] a 2. ábra mutatja be.

Az energiahordozók részarányának időbeli változását elemezve megállapítható, hogy a földgázfelhasználás folyamatosan növekedni fog, az olaj és a szilárd tüzelőanyag felhasználás a '90-es évekbeli csökkenés után szintén növekszik. A megújuló energiaforrások viszont csak a 2025 év környékén fogják elérni az éves felhasználás 3%-át. Átlagosan 1%-os éves energiafelhasználás növekedéssel számolhatunk 2020-ig, majd 2020 és 2030 között 0,3%-os éves primer energiafelhasználás csökkenéssel [3].

Ha elemezzük Magyarország importfüggőségét energiahordozók szempontjából (3. ábra), akkor láthatjuk, hogy a két legfontosabb energiahordozót (földgáz és kőolaj) a 2010 év környékén már több mint 80%-ban importálni fogjuk. Ugyanez történik a szilárd tüzelőanyagokkal 2020 után.

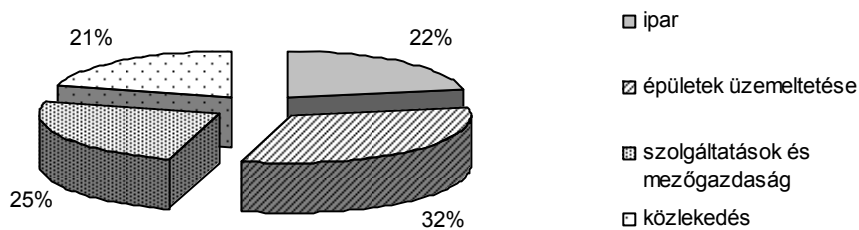


2. ábra Az energiahordozók megoszlása Magyarországon



3. ábra Magyarország várható importfüggősége energiahordozók szempontjából

Ha az energiafelhasználás szektoronkénti megoszlását vesszük figyelembe [7], akkor láthatjuk (4. ábra), hogy a 2000 évben a legnagyobb energiafelhasználók az épületek 32%-al.

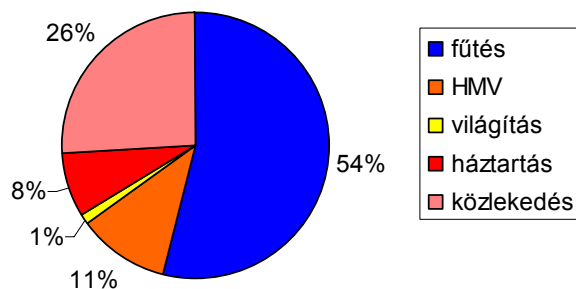


4. ábra Az energiafelhasználás szektoronkénti megoszlása

Ha a lakossági energiafogyasztás megoszlását [8] elemezzük (5. ábra) akkor látható, hogy a legnagyobb részt az épületek fűtése teszi ki

Ha az ország importfüggőségét, illetve, a meglévő épületállomány és az azt kiszolgáló épületgépészeti berendezések állapotát is figyelembe vesszük akkor Magyarországon is elsődleges szempont kell legyen az épületek energiafelhasználásának csökkentése.





5. ábra A lakossági energiafogyasztás Magyarországon

Az 1. táblázat a megújuló energiaforrásokból felhasznált energiamennyiségek arányát mutatja be Magyarországon.

1. táblázat Megújuló energiaforrások Magyarországon, [10]

Megújuló energia	Villamos energia [TJ]	Hő, [TJ]	Villamos energia, [%]	Hő, [%]
Víz energia	739,8		1,83	
Szél energia	20,16		0,05	
Geotermikus		3600		8,9
Napkollektor		76		0,188
Fotovillamos	0,36			
Tűzifa		17470		43,2
Egyéb szilárd tüzelő	2440,8	5695	6	14,1
Szennyvíz tisztítási gáz	79,2	146	0,195	0,36
Hőszivattyú		46		0,11
Egyéb növényi hulladék		8750		21,63
Hulladék égetés	194,4	1179	0,48	2,91
Összesen	3474,72	36962	8,6	91,4
Összesen:	40436,72		100	

Mint látható a geotermikus energiaforrásból az összes energiafelhasználás 0,26%-át fedezi. Ugyanakkor az összes megújuló energiaforrásból előállított energiamennyiségnek 43,2%-át tűzifával állítjuk elő. Itt szükséges megjegyezni, hogy vannak olyan vélemények mely szerint a tűzifa nem tartozik a megújuló energiaforrások közé.

### 3. GEOTERMIKUS ENERGIA

A geotermikus energia a földkéreg belső energiája (földhő). A geotermikus energiahordozók azok a különböző halmazállapotú anyagok (pl. felszín alatti vizek, gőzök), melyek a földkéreg belső energiájának hőenergetikai célú hasznosítását kitermeléssel vagy más technológia alkalmazásával lehetővé teszik. (A bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. Törvény 49. §)

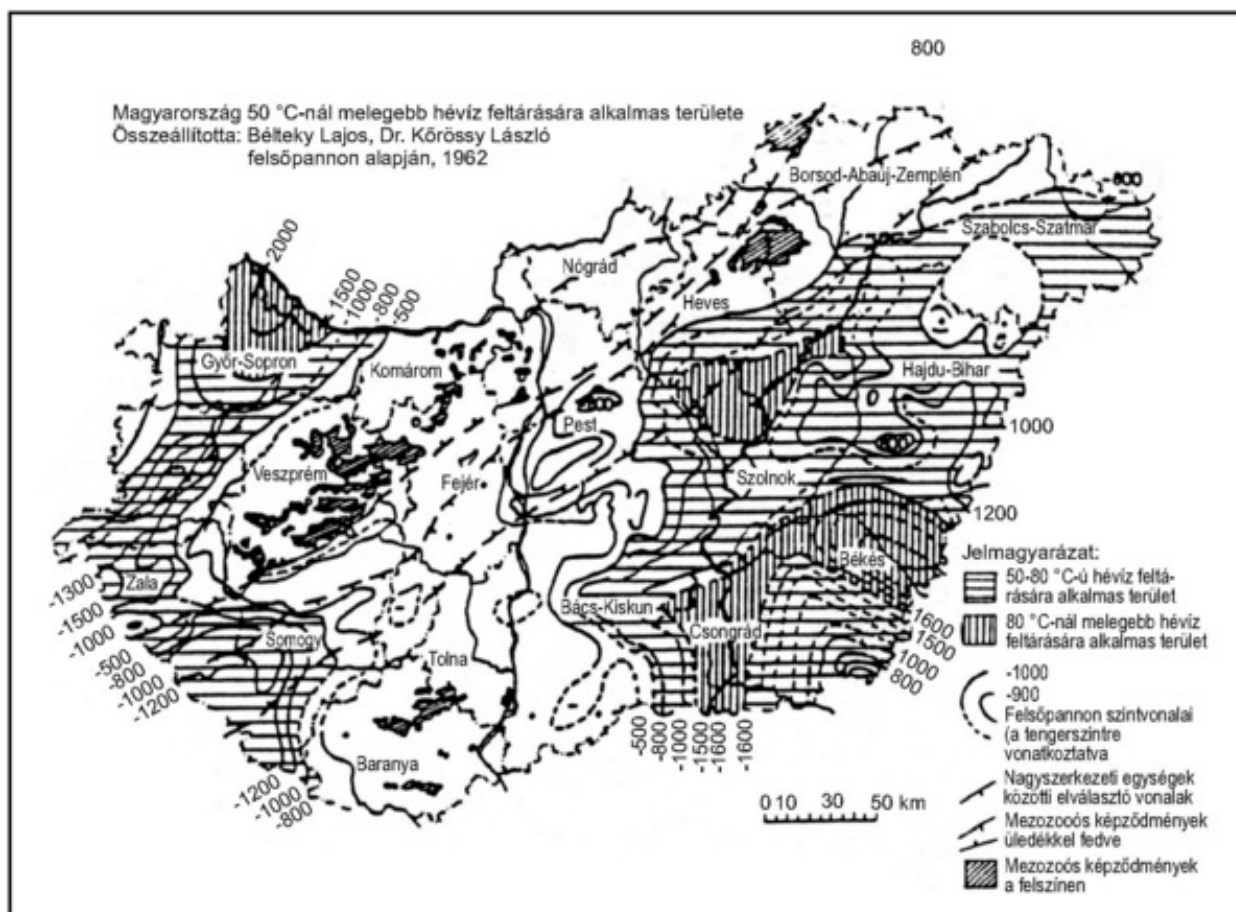
Magyarország a Pannon-medence közepén, kedvező geotermikus adottságú területen helyezkedik el.

A geotermikus gradiens másfélszerese a világtátlagnak: 5 °C/100 m. Ennek oka:

- a földkéreg vékonyabb 20–26 km vastagságú (világtátlag: 30 – 35 km)
- jó hőszigetelő üledékek töltik ki a medencét (agyagok, homokok)

A geotermikus gradiens az Alföldön és a Dél-Dunántúlon magasabb, a Kisalföldön és a hegyvidéki területeken alacsonyabb.

Az ország területét a kinyerhető geotermikus energia szempontjából már 1962-ben feltérképezték (6. ábra) [1].



6. ábra Geotermikus energia kitermelésére alkalmas területek

A hasznosított geotermikus energia mennyiség, a +30 °C-ot meghaladó hőmérsékletű energiahordozóból kinyert energiamennyiség energetikai célra hasznosított része.

Nem minősül energetikai célú hasznosításnak a geotermikus energiát gyógyászati, balneológiai, valamint vízellátási célokra való felhasználása, még abban az esetben sem, ha azt másodlagos felhasználással energetikai célra is hasznosítják. (A bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény végrehajtásáról szóló 203/1998 (XII. 19.) Korm. rendelet (Vhr.) 34. §)

Földhő igénybevételeinek lehetőségei:

termálvíz kitermelés nélkül:

hőszivattyú

Hot Dry Rock – elektromos energia termelésénél gazdaságos

termálvíz kitermeléssel:

kommunális fűtés

használati melegvíz készítés

növényházak fűtése

terményszárítás, stb.

termálvíz kitermeléssel + visszasajtolással megvalósuló magyarországi beruházások:

geotermális közmű rendszer – Hódmezővásárhely

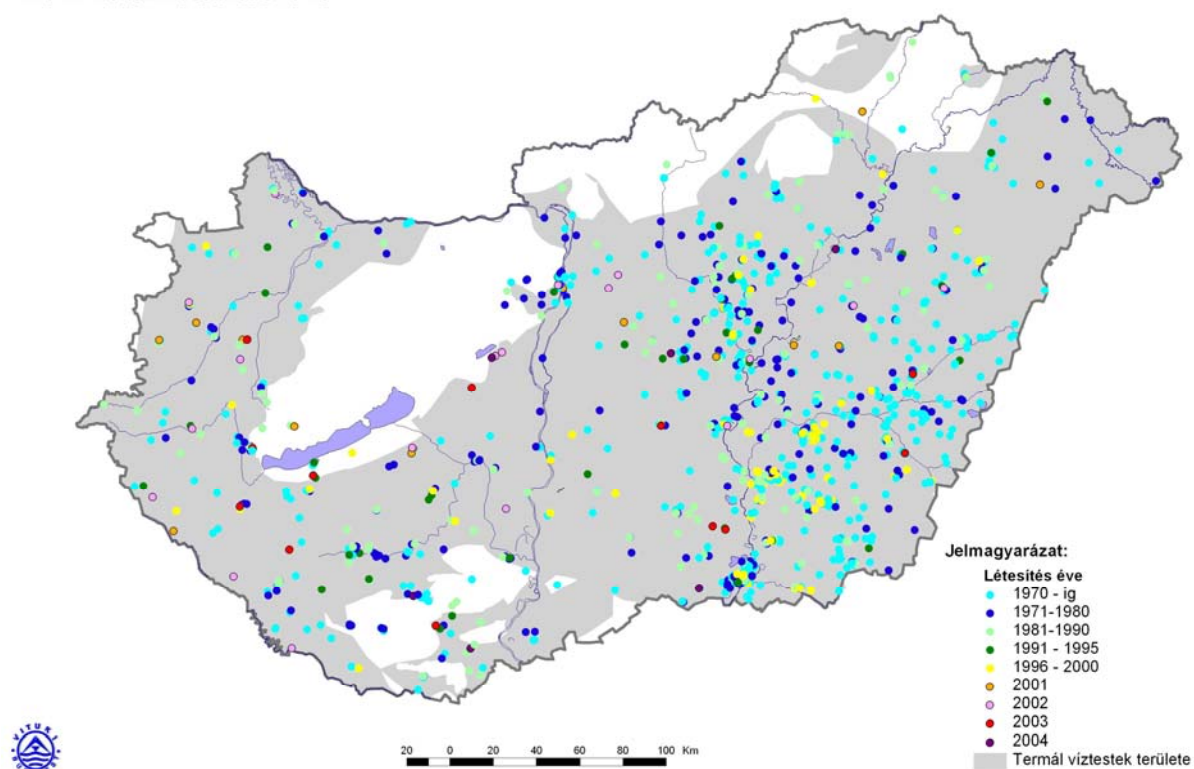
geotermális villamos erőmű (– kísérleti projekt – MOL)

Magyarországon a geotermális energia jelenlegi felhasználása: 3,6 PJ szemben a potenciális lehetőséggel: 10-50 PJ.

A 2004. évi állapotok szerint több mint 900 db termálvízkút üzemel. Ebből:

- |   |      |
|---|------|
| 1. Ivóvízellátás                          | 26 % |
| 2. Mezőgazdasági célú vízellátás          | 21 % |
| 3. Balneológia, gyógyászat, gyógyturizmus | 31 % |
| 4. Egyéb (többcélú, kommunális, ipar)     | 22 % |

A hévízkutak helyét és létesítési évét a 7. ábra mutatja be [6].



7. ábra Hévízkutak Magyarországon

A magyarországi hévízkutak számát a hasznosítási terület és a kitermelt víz hőmérsékletének függvényében a 2. táblázat mutatja be [6].

2. táblázat Hévízkutak hőmérséklete és hasznosítási területe

Hőfok [°C]	Kutak db	Kutak %	Hasznosítás ( db )									
			F	V	M	I	K	T	R	Z	E	S
30-39,9	581	42	59	183	72	29	1	9	0	84	40	101
40-49,9	283	20	91	22	16	17	2	20	0	36	45	27
50-59,9	132	11	45	7	17	10	2	14	4	13	12	7
60-69,9	121	10	32	0	17	6	1	25	7	18	3	10
70-79,9	70	7	8	0	23	4	6	16	2	8	2	1
80-89,9	50	5	4	0	33	3	2	1	0	6	1	0
90-99,9	48	5	4	0	31	1	5	0	0	5	0	2
>100	3	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
összesen	1288	100	243	212	210	70	20	85	13	171	103	148

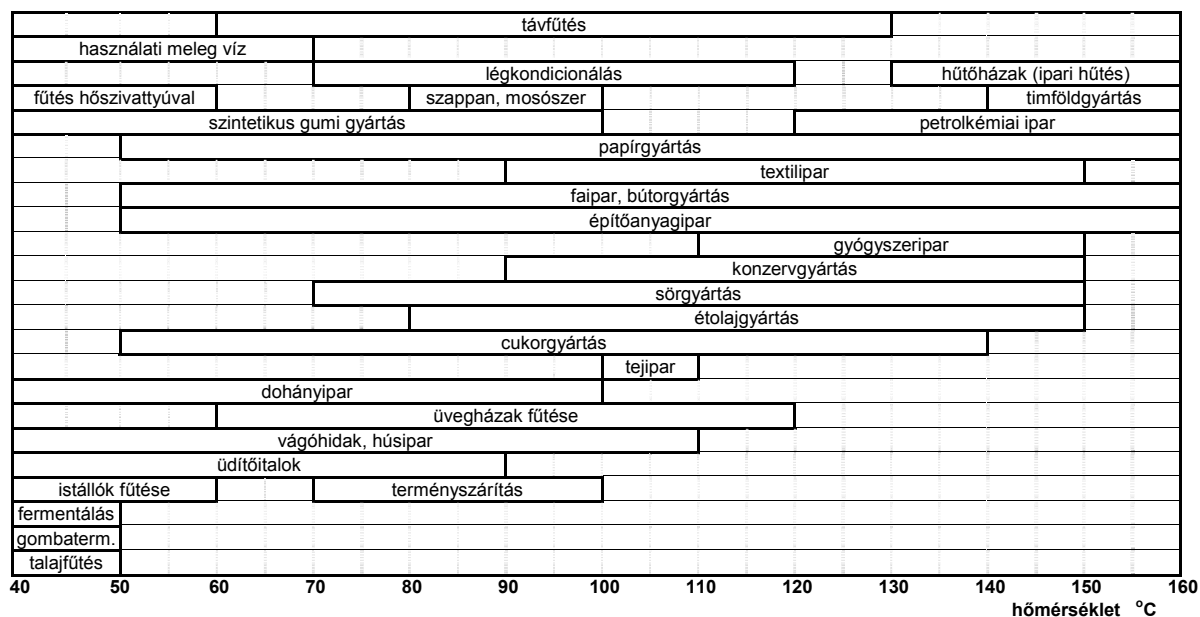
F – fürdők; V – ivóvíz; M – mezőgazdaság; I – ipar; K – kommunális; T – többcélú; R – visszasajtoló; Z – lezárt; E – figyelő kút; S – műszakilag hibás.

A kitermelt termálvizek közvetlen felhasználása számos területen lehetséges. Az alkalmazási lehetőségeket a víz hőmérséklete határozza meg (8. ábra) [6].

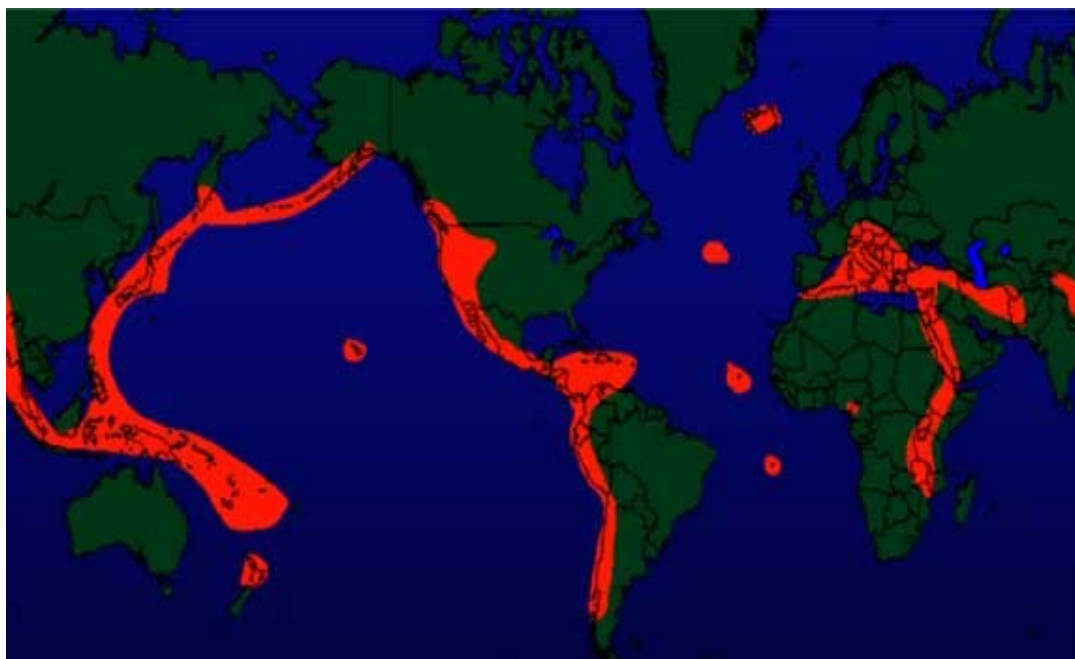
## 4. FŰTÉSI RENDSZEREK GEOTERMIKUS ENERGIAFORRÁSRÓL

Fűtési rendszereket geotermikus hőforrásról azokban az országokban találunk, ahol a geotermikus feltételek ezen rendszerek gazdaságos üzemeltetését lehetővé teszik. A 9. ábra alapján Magyarország

ezen országok közé tartozik. A jelenlegi szabályozások szerint, ha a termálvizet energetikai hasznosítási céllal termelik ki, akkor meg kell valósítani annak visszasajtolását.



8. ábra Termálvizek felhasználási területe

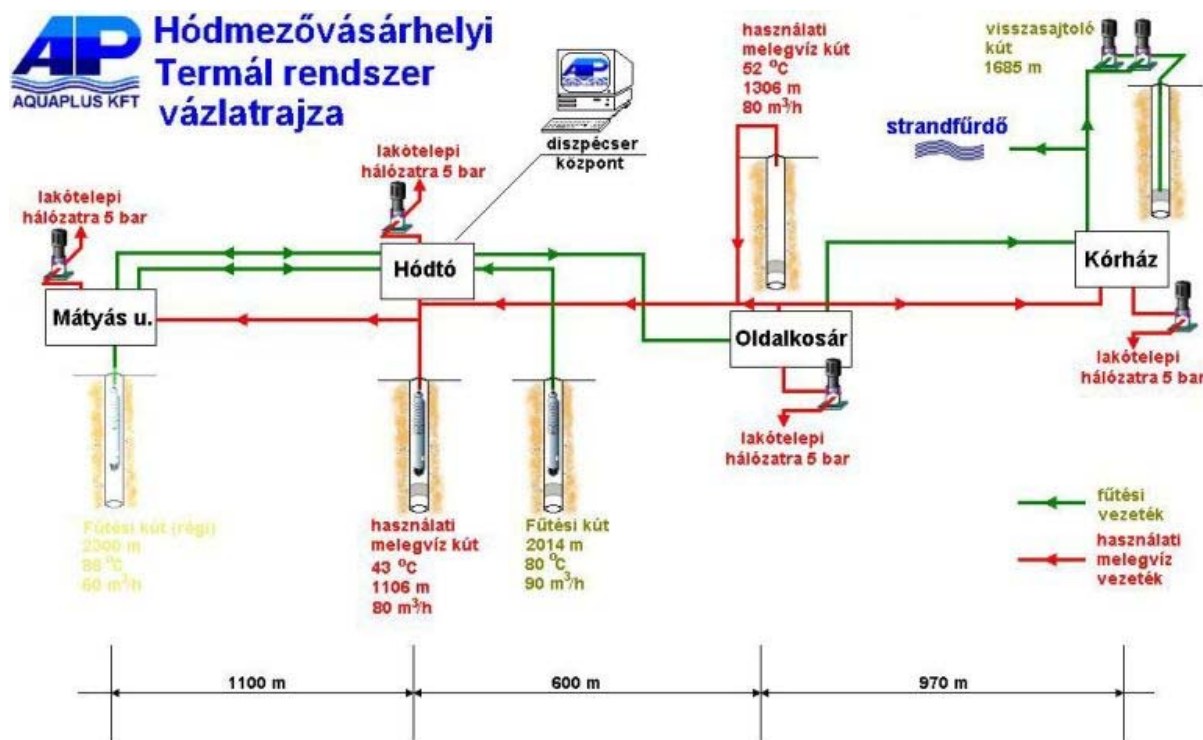


9. ábra Kiemelkedő geotermikus adottságokkal rendelkező területek [4]

Magyarországon több városban is a távfűtési rendszert geotermikus energiaforrásról megtáplálják, vagy vannak kerületek, épületek, amelyek fűtési energiaigényét geotermikus hőforrásról biztosítják (pl. Hódmezővásárhely, Budapest, Szentes, Szeged, Kistelek...).

Hódmezővásárhelyen geotermikus hőforrásról látják el 3000 lakásnak teljes melegvízigényét és ezen felül 40000 GJ hőmennyiséget fűtésre használnak [2]. Ezzel csaknem 2 millió m<sup>3</sup> földgázt takarítanak meg. Az egész rendszer (10 ábra) három 1100...2300 m mélységű termelő termálkúton és egy visszasajtoló kúton alapszik. A termálvíz hőcserélőkön keresztül hőmérsékletszabályozással fűti a használati melegvizet és a fűtés szekunder köreit. Az így lehűtött termálvíz egy része a strand és az

uszoda medencéinek a vizét adja, a gyógyvíz kút lehűtött vize külön vezetéken a strand gyógymedencéjét táplálja.



10. ábra [4]

A geotermikus hőforrásról üzemelő fűtési rendszerek elterjedésének egyik fő akadálya a környezetvédelmi/vízgazdálkodási szigorú szabályok és előírások mellett a befektetési költségek nagysága. Egy termálkút fúrási költségei a kút mélységének függvényében a következők:

1000 m – kb. 60 millió Ft

1500 m – 90 millió Ft

2000 m – 160 millió Ft

Abban az esetben amikor a termálkút nem pozitív a vizet buvárszivattyúval termelik ki. Egy németországi megvalósult rendszer esetében a buvárszivattyú technikai adatai [9]: hossza 17 m, súlya 2,5 tonna, teljesítményfelvétel 450 kW, üzemóra szám 40000, élettartam 4,5 év. Ennél a rendszernél a befektetési költségek megoszlása a következő: kút kialakítása: 41%, energiaközpont: 15%, távfűtővezeték 29%, építési járulékköltség: 15%. A befektetések viszont figyelembe véve az üzemeltetési költségeket és a megtakarított fosszilis tüzelőanyag mennyiséget viszonylag rövid időn belül megtérülnek.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] KONTRA JENŐ: A geotermális hő hasznosítása és az exergiaszemlélet, Mérnök Újság, 2007 szeptember: p. 15-17.
- [2] KISS GYÖRGY: Geotermikus energia hasznosítása, Magyar Elektronika, 2005/4:25-26, 2005.
- [3] KALMÁR FERENC: Központi fűtési rendszerek illesztése felújított épületek megváltozott energetikai igényeihez, Doktori értekezés, BME, Budapest, 2004.
- [4] <http://www.williams.edu/Geoscience/greenenergy/galleries/geothermal/index.htm>
- [5] <http://www.aquaplus.hu/referenciak.php>
- [6] LANDY KORNÉLNÉ: Geotermális energiahasznosítás Magyarországon, Szakdolgozat, BME, 2002.
- [7] EC, Directorate-General for Energy and Transport (Dr. L. Mantzos) European Energy and Transport Trends to 2030, EU, 2003.
- [8] ZÖLD ANDRÁS: Energiatudatos építész, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1999.
- [9] <http://www.vgf.hu/cikkindex.php?action=viewfull&ID=967>
- [10] BOHOCZKY FERENC, Megújuló energiaforrások, [www.kvvm.hu/cimg/documents/09\\_20\\_Bohoczky\\_Ferenc\\_el\\_ad\\_sa.ppt](http://www.kvvm.hu/cimg/documents/09_20_Bohoczky_Ferenc_el_ad_sa.ppt)



## ALACSONY EXERGIAIGÉNYŰ FŰTÉSI RENDSZEREK

### 1. BEVEZETÉS

Az energiamegtakarítás napjaink egyik alapvető célkitűzése mindegyik energia-felhasználó szektorban. Az Európai Unió országaiban, az épületszektor a legnagyobb energiafogyasztó, mintegy 40%-al az összes energiafelhasználásból. Magyarországon a lakossági energiafogyasztásnak 54%-át a fűtés teszi ki. Természetesen ez a magas arány az épület hőtechnikai paramétereinek és a fűtési rendszer hatásfokának együttesen köszönhető. Az épületgépészeti berendezések hatékonyságának elemzésére az exergia fogalmának az alkalmazása újszerű megközelítés [3], [4], [5]. Mivel ez a fogalom Magyarországon a fűtési rendszerek tárgykörében ezidáig nem igazán volt használatos, szükséges ennek megismertetése [1] és az alkalmazási lehetőségek feltárása [2].

### 2. AZ IRREVERZIBILIS HŐERŐGÉP

Minden valóságos hőerőgépnél fellépnek irreverzibilitások, amelyeknek következtében a termikus hatásfok nem éri el a reverzibilis hőerőgép hatásfokának értékét. Ideálisnak volna nevezhető az olyan hőerőgép, amely a bevezetett hőenergiát teljes egészében mechanikai munkává alakítaná. A hőerőgép hőforrásból nyeri a hőenergiát és a gépben a munkavégző közeg körfolyamatot végez. A hőerőgép egy munkaciklusára tehát:

$$\Delta s_{hg} = 0 \quad (1)$$

A hőforrásra viszont:

$$\Delta s_{hf} < 0 \quad (2)$$

mivel hőelvonás történt. A hőerőgépet és a hőforrást együttese adiabatikus rendszernek tekintve az ideális hőerőgépnél:

$$\Delta s_{hg} + \Delta s_{hf} < 0 \quad (3)$$

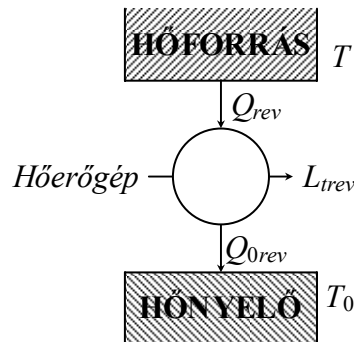
ami viszont a II. főtételnek ellentmond. Ideális hőerőgép, amelynek termikus hatásfoka 100% lenne nem képzelhető el. Ezek szerint a valóságos hőerőgépnél a hőforráson kívül szükség van hőnyelőre is, amelynek entrópiája a hőenergia felvétele során nagyobb mértékben növekszik, mint amennyivel a hőforrás entrópiája a hőleadás közben csökken.

A valóságos hőerőgép termikus hatásfoka akkor a legnagyobb, amikor az összes benne lejátszódó folyamatok reverzibilisek. Feltételezzük, hogy a hőforrás  $T$ =állandó hőmérsékleten szolgáltatja a  $(Q)_{rev}$  hőenergiát és a hőnyelő  $T_0$ =állandó hőmérsékleten vonja el a  $(Q_0)_{rev}$  hőenergiát.

$$\Delta S_{rev} = -\frac{(Q)_{rev}}{T} + \frac{(Q_0)_{rev}}{T_0} = 0 \quad (4)$$

Irreverzibilis folyamatoknál:

$$\Delta S_{irrev} = -\frac{(Q)_{rev}}{T} + \frac{(Q_0)_{rev}}{T_0} + \frac{Q_v}{T_0} > 0 \quad (5)$$



1. ábra Hőerőgép és környezete

A folyamatból kinyerhető munka:

$$L_t = Q - |Q_0| \quad (6)$$

Az irreverzibilis folyamat termikus hatásfoka:

$$\eta_t = \frac{L_t}{Q} = \frac{T - T_0}{T} - \frac{T_0 \Delta S_{irrev}}{Q} \quad (7)$$

Vagyis:

$$\eta_t = \eta_c - \frac{T_0 \Delta S_{irrev}}{Q} \quad (8)$$

Mivel  $\Delta S_{irrev} > 0$  az irreverzibilis folyamat termikus hatásfoka, ami azt jelenti, hogy az irreverzibilis hőerőgépnél kevesebb munka nyerhető ugyanannyi hőenergiából, mint a reverzibilis hőerőgépnél. A munkaveszteség:

$$L_v = T_0 \Delta S_{irrev} \quad (9)$$

### 3. A MAXIMÁLISAN NYERHETŐ MUNKA

Vizsgáljunk meg egy zárt rendszert, amelyben munkát állítunk elő. Legyen a munkanyerés közben hasznosítható potenciális és kinetikus energiakülönbség elenyészően csekély. Mechanikai munka nyerése céljából tehát a rendszer belső energiája használható fel. Nevezzük az energiaátalakulásban résztvevő közegeket munkaszolgáltatónak, míg a velük közvetlenül érintkezőket környezetnek. A munkaszolgáltató és a környezet együttesen adiabatikus rendszert képez.

A munkaszolgáltató állapotjelzői a folyamat kezdetén legyenek  $U_1, p_1, T_1, S_1, V_1$  és a folyamat végén  $U_2, p_2, T_2, S_2, V_2$ . A környezet (pl. levegő) elég nagy ahhoz, hogy hőfokában ( $T_0$ ) és nyomásában ( $p_0$ ) a munkaszolgáltató állapotváltozása változást ne hozzon létre. A környezet belső energiája viszont legyen a folyamat kezdetén  $U_{01}$  a folyamat végén  $U_{02}$ , az entrópiája pedig  $S_{01}$  és  $S_{02}$ . Az első főtétel alapján az egész rendszerre ( $Q=0$ ):

$$U'' - U' + L = 0 \quad (10)$$



Amiből a nyerhető munka:

$$L = U' - U'' = (U_1 + U_{01}) - (U_2 + U_{02}) = U_1 - U_2 + U_{01} - U_{02} \quad (11)$$

A folyamat alatt a munkaszolgáltató kitágulása által a környezet felé teljesített térfogatváltozási munka:

$$L' = p_0(V_2 - V_1) \quad (12)$$

A környezetnek átadott hőenergia:

$$Q_0 = T_0 \Delta S_0 = T_0(S_{02} - S_{01}) \quad (13)$$

A környezet belső energiájának változása tehát:

$$U_{02} - U_{01} = Q_0 + L' \quad (14)$$

Figyelembe véve még, hogy az egész rendszer entrópiaváltozása:

$$\Delta S = \Delta S_0 + S_2 - S_1 \geq 0 \quad (15)$$

a folyamat során nyerhető munka:

$$L \leq (U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) - p_0(V_2 - V_1) = L_{\max} \quad (16)$$

Az egyenlőség reverzibilis, az egyenlőtlenség irreverzibilis folyamatokra vonatkozik. Az összefüggés szerint a folyamatból akkor nyerhető a legnagyobb munka, ha a folyamat megfordítható, másrészt az expanziót a környezet állapotáig ki kell terjeszteni ( $T_0, p_0$ ).

Nyitott rendszer esetében a nyerhető maximális technikai munka meghatározásánál az áramló közeg entalpiája a mérvadó és ezen felül figyelembe kell venni még a közeg kinetikus energiáját. Ezekkel azután a nyitott rendszerből nyerhető maximális technikai munka:

$$L_t \leq (H_1 - H_2) - T_0(S_1 - S_2) + \frac{m}{2}(w_1^2 - w_2^2) = L_{t,\max} \quad (17)$$

Természetesen az egyenlőség ebben az esetben is a reverzibilis folyamatokra vonatkozik.

## 4. EXERGIA

Vizsgáljuk azt az esetet, amikor a folyamat megfordítható. Ekkor maximálisan

$$L_{\max} = (U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) - p_0(V_2 - V_1) \quad (18)$$

és

$$L_{t,\max} = (H_1 - H_2) - T_0(S_1 - S_2) + \frac{m}{2}(w_1^2 - w_2^2) \quad (19)$$

nyerhető.

Ez a két összefüggés igen fontos a munkavégző képesség megítélése szempontjából. Mivel a maximális munka megfordítható folyamatból akkor keletkezik, ha az expanzió a környezet állapotáig van kiterjesztve, ahol tehát a munkavégző állapotjelzői a környezetével azonosak ( $T_k, p_k, U_k, H_k, S_k$ ) a két egyenlet az alábbiak szerint módosul:

$$L_{\max} = (U_1 - U_k) - T_k(S_1 - S_k) - p_k(V_2 - V_1) \quad (20)$$

és

$$L_{t\max} = (H_1 - H_k) - T_k(S_1 - S_k) + \frac{m}{2} w_1^2 \quad (21)$$

mivel a nyitott rendszerénél a munkaközeg áramlási sebessége:  $w_2 = w_k = 0$ .

A (21) összefüggés az áramló közegből nyerhető maximális technikai munka meghatározására nyújt lehetőséget. Ha a kinetikus energiát elhanyagoljuk, egységnyi tömegre vonatkoztatva a maximálisan kinyerhető technikai munka:

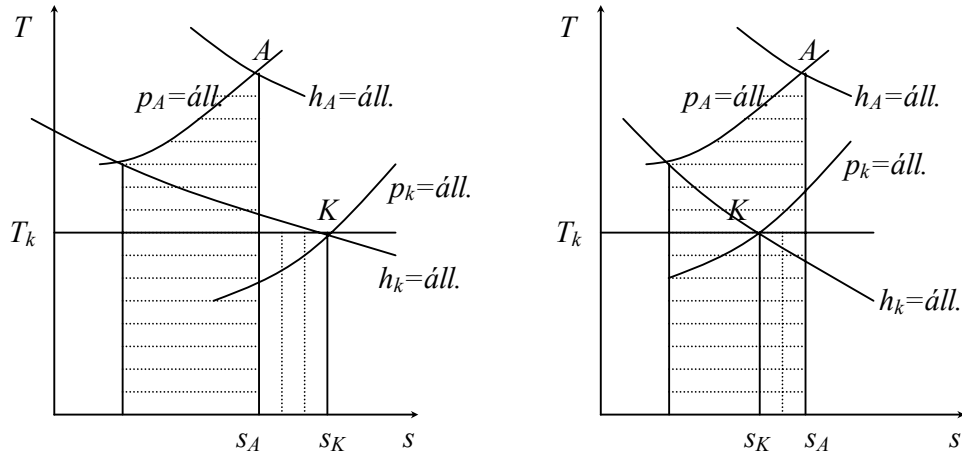
$$l_{t\max} = (h_1 - h_k) - T_k(s_1 - s_k) \quad (22)$$

Ezt a technikai munkát exergiának nevezzük. Ha a környezet hőfokát rögzítjük akkor látható, hogy az exergia állapotjelző:

$$e = (h_1 - h_k) - T_k(s_1 - s_k) \quad (23)$$

és a közeg technikai munkavégző képességére jellemző érték  $T_k$  és  $s_k$  állapotjelzőkkel rendelkező környezetben.

Az exergia ábrázolható T-s diagramban is.



2. ábra Exergia a T-s diagramban

Az ábra bal oldalán az az eset van feltüntetve amikor a kezdeti entrópia kisebb, mint a környezet entrópiája és így a munkavégző képesség még a környezettől felvehető  $T_k(s_k - s)$  hővel növekszik. A jobb oldal viszont azt a változatot ábrázolja, amikor  $s > s_k$  értéknél.

Abban az esetben tehát, amikor az átáramló közeg kinetikus és potenciális energiája elhanyagolható, akkor a munkavégző képesség a közeg exergiájával azonos.

## 5. TERMODINAMIKAI FOLYAMATOK ÉRTÉKELÉSE AZ EXERGIA SEGÍTSÉGÉVEL

Az eddigiek során megfordítható folyamatokat vizsgáltunk. A gyakorlatban előforduló irreverzibilitások miatt azonban az exergia által képviselt technikai munkavégző képesség csökken. Az irreverzibilitás a termodinamikai folyamatokban éppen azt jelenti, hogy az energia elértéktelenedik, a magasabb értékű mechanikai energia kevésbé értékes alakban jelenik meg. Az irreverzibilitással kapcsolatosan technikai munkavégző képesség megy veszendőbe, az exergia megsemmisül.

Tételezzünk fel egy adiabatikus rendszert, amelyből technikai munkát nyerünk az 1 és 2 állapotok között. A nyert technikai munka (ha elhanyagoljuk a kinetikus és potenciális energiákat):

$$l_t = h_1 - h_2 \quad (24)$$

A technikai munkavégző képesség változása az 1 és 2 állapotok között:

$$\Delta l_t = e_2 - e_1 = (h_2 - h_1) - T_k (s_2 - s_1) \quad (25)$$

A (24) és (25) alapján látható, hogy az adiabatikus rendszerből nyerhető technikai munka:

$$l_t = e_1 - e_2 - T_k (s_2 - s_1) \quad (26)$$

Ha a folyamat irreverzibilis, akkor, mivel  $s_2 > s_1$ , a nyerhető technikai munka mindig kisebb a munkavégző képesség csökkenésénél. Így irreverzibilis folyamatoknál az exergiavesztés:

$$\Delta e_v = T_k (s_2 - s_1) \quad (27)$$

Ha a rendszer nem adiabatikus, akkor a környezetet is beleszámítva adiabatikussá tehető. Ekkor az irreverzibilitás okozta exergiavesztés:

$$\Delta e_v = T_k (s_2 - s_1 + \Delta s_k) \quad (28)$$

ahol  $\Delta s_k$  a környezet entrópia növekedése.

## 6. FŰTÉSI RENDSZEREK EXERGIAFELHASZNÁLÁSA

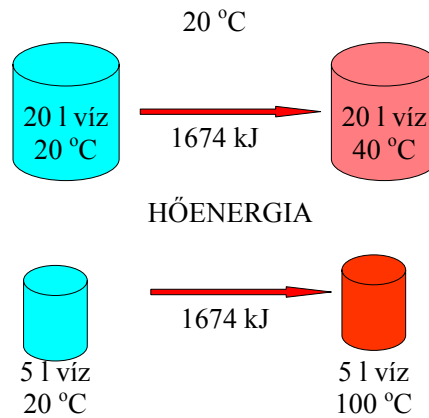
Ha abból indulunk ki, hogy az exergia egy adott hőmennyiségből kinyerhető maximális technikai munkát jelenti, akkor a Carnot körfolyamat hatásfokát figyelembe véve:

$$E = Q \left( 1 - \frac{T}{T_0} \right) \quad (29)$$

ahol  $T$  – a fűtésre felhasznált fűtőközeg hőmérséklete, [K];  $T_0$  – referenciahőmérséklet, [K].

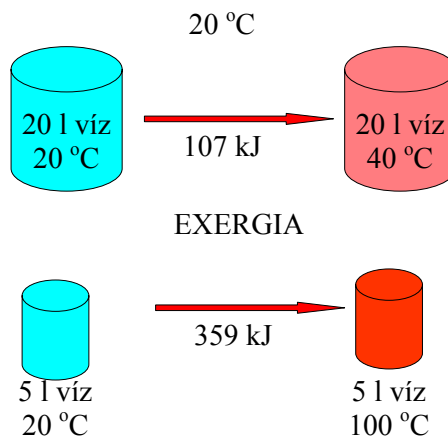
Hogy megértsük a különbséget az energia és az exergia fogalma között, elemezzük az alábbi példát.

Adott 20 l, 20 °C hőmérsékletű víz, amit 40 °C-ra fel kell melegíteni. A környezet hőmérséklete legyen szintén 20 °C. Ha figyelembe vesszük a víz fajhő értékét, akkor a szükséges hőmennyiség 1674 kJ lesz. Ha most nem 20 l vízről, hanem 5 l vízről lenne szó, amit nem 40 °C-ra, hanem 100 °C-ra kell felmelegíteni, akkor a szükséges hőmennyiség ugyanannyi lesz, mint előző esetben (a felmelegítendő víz tömege negyede az eredetinek, de a hőfokkülönbség viszont négyszeres – 3. ábra).



3. ábra Felfűtéshez szükséges hőmennyiség

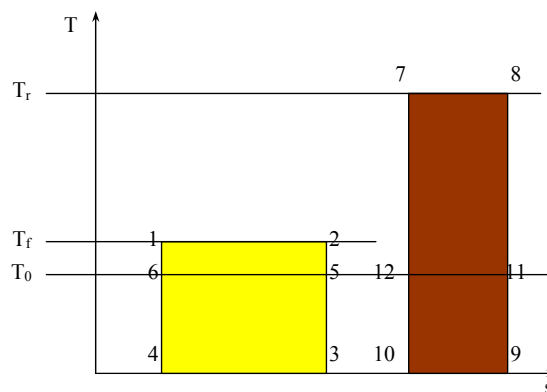
Elemezzük a két folyamatot az exergiafelhasználás szempontjából. Első esetben, ha behelyettesítjük az előző értékeket a (29) összefüggésbe, akkor a folyamat exergiaigénye 107 kJ. Második esetben viszont, mivel jóval magasabb hőmérsékletre kell felfűteni a vizet, bár kisebb mennyiségről van szó, az exergiaigény 359 kJ-ra növekszik (4 ábra).



4. ábra Felfűtéshez szükséges exergiamennyiség

Ez azt jelenti, hogy a fűtési rendszereknek annál nagyobb az exergia felhasználása, minél nagyobb hőfokon működik a rendszer.

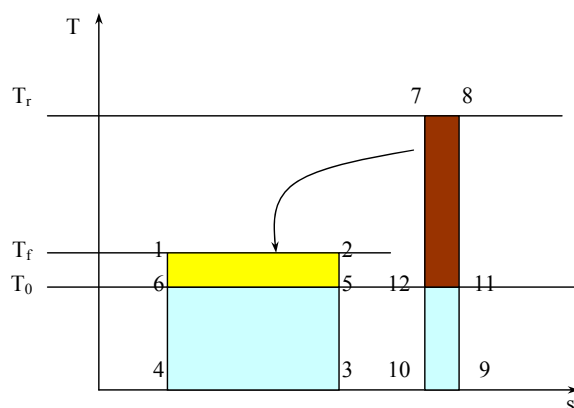
Elemezzük az 5. ábra által bemutatott esetet. Tételezzük fel, hogy egy fűtési rendszernek egy épületben biztosítani kell a  $T_f$  hőmérsékletet, amikor a környezet hőmérséklete  $T_0$ .



5. ábra Hő vs exergia

A T-s diagramban az állapotváltozási vonalak alatti területek a hőt jelentik, így azt mondhatjuk, hogy  $T_f$  hőmérséklet biztosításához az 1-2-3-4 pontok által határolt terület jelzi a szükséges hőmennyiséget. Ebből viszont a környezetben is rendelkezésre áll a 3-4-5-6 terület által jelzett hőmennyiség. Ha exergetikailag elemezzük a szükséges hőmennyiséget, úgy hogy referenciahőmérsékletnek a környezeti hőmérsékletet vesszük, akkor látható, hogy ennek a hőmennyiségnek az exergiatartalmát az 1-2-5-6-terület jelzi. Ha a szükséges hőmennyiséget egy  $T_r$  közeg segítségével szállítjuk az épületbe, akkor a két terület az (1-2-3-4) és a 7-8-9-10 egyenlő kell legyen (vagy, ha még a veszteségeket is figyelembe vesszük az utóbbi nagyobb kell legyen). Az ábrából viszont jól látható, hogy a második hőmennyiségnek az exergiatartalma (7-8-11-12) jóval nagyobb a szükségesnél. Vagyis exergia szempontjából alacsony hatásfokú a rendszerünk, hiszen a szükségesnél jóval több exergiát semmisítünk meg.

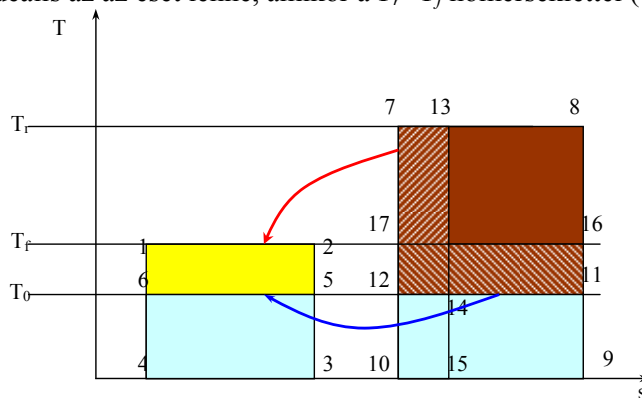
Ha annyi exergiát szeretnénk elhasználni, mint amennyi szükséges (jó exergetikai hatásfok), akkor a 6. ábrában bemutatott folyamatok szerint kell működjön a vizsgált rendszer.



6. ábra Jó exergetikai hatásfokú fűtési rendszer

Mint látható ebben az esetben pontosan annyi exergiát használunk el, mint amennyi szükséges (a 7-8-11-12 terület egyenlő a az 1-2-5-6 területtal). A gyakorlatban így működnek a hőszivattyúk. A környezeti energiát felhasználva, annak értékét (hőfokát) egy jobb minőségű de kisebb mennyiségű energia (villamos) megemelik, ezáltal kielégítve a fűtési igényt.

Ezen rendszerek exergetikai hatásfokát csak úgy lehetne tovább fokozni, ha a  $T_r$  hőmérsékletet tudnánk csökkenteni. Ideális az az eset lenne, amikor a  $T_r = T_f$  hőmérséklettel (7. ábra).



7. ábra Exergetikai szempontból ideális fűtési rendszer

Az ábrából látható, hogy ebben az esetben nem a 7-13-14-12 exergiamennyiséget, hanem a 11-12-17-16 exergiamennyiséget használnánk el, így a különbséget, amely a 7-8-16-17 területnek felel meg, nagyobb exergiaigényű folyamatoknál használhatjuk fel.

A cél tehát olyan fűtési rendszerek kifejlesztése kell legyen, amelyek a környezeti és az épületben igényelt hőmérsékletek közötti különbséget, minimális exergiafogyasztással tudják lefedni.

#### **FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] VIDA GYÖRGY: Műszaki hőtan, p. 46-51, Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.
- [2] RANT ZORAN: Energy value and pricing, strojniski vestnik, nr. 1 1955 - DK620.92:536.7
- [3] KALMÁR Ferenc: Központi fűtési rendszerek exergetikai elemzése, Debreceni Műszaki közlemények, DE MFK, vol. V, 3 szám.
- [4] KONTRA JENŐ.: A geotermális energia exergia-szemléletű elemzése, Debreceni Műszaki Közlemények, V. évf. 3. szám 2006/3, Debrecen, p. 5-12
- [5] SCHMIDT DIETRICH: Design of Low exergy buildings – Method and a pre-design tool, Int. Journal of Low energy and Sustainable buildings, vol.3, 2003-2006.

## **Harcászati repülőgépek megítélése műszaki üzembentartási szempontból**

### **Bevezető**

A korszerű harcászati repülőgépeket harcászati-technikai adataik ismerete alapján lehet legegyszerűbb módon összehasonlítani. E módszerrel viszonylag megbízható kép nyerhető a címben meghatározott eszközök békeidős kiképzési repüléseinek anyagi értelemben vett gazdaságosságáról, kisebb mértékben a kiképzési célban meghatározott hatékonyságáról.

Az elmúlt évtizedben szerzett tapasztalataink azonban egyértelműen igazolták, hogy a katonai repülőgépek, lehetnek azok a rajzasztalok nagy ígéretei, vagy a légi bemutatók sztárjai, nem szükségszerűen váltak a legeredményesebb harceszközzé. Harci hatékonyságukat ugyanis nemcsak a manőverező-képességük, fedélzeti fegyverzetük, önvédelmi képességük, harci-túlélőképességük magas valószínűsége és elektronikájuk fejlettsége, hanem legalább olyan mértékben az üzemeltetési rendszerének korszerűsége, célszerűsége, „felhasználóbarát” kialakítása határozza meg.

### **I. Az üzemeltethetőségi mutató szerepe a harcászati repülőgépek többszemponútú összevetésében**

Üzemeltethetőségnek nevezik a repülőgép azon tulajdonságát, hogy rajta a kiszolgálás a karbantartással, javítással, modernizálással kapcsolatos műszaki technológiai munkák elvégezhetőek. Az üzemeltethetőséghez hasonlóan megkülönböztetnek karbantarthatóságot, javíthatóságot, stb. Az üzemeltethetőség minőségét ún. üzemeltethetőségi mutatókkal jellemzik. Ezek többnyire egy adott kiszolgálási, vagy karbantartási, javítási munka elvégzéséhez szükséges munkaráfordítás és az adott munkához az előkészítéssel, utólagos ellenőrzésekkel, stb. számított teljes munka viszonyát adják meg. Természetesen a mutatók a munkaráfordítás helyett a munkaidők, vagy a költségek viszonyaként is megadhatók. Az üzemeltethetőség lényegében a repülőgép szerkezeti fejlettségére utal

Lényegében az üzemeltethetőségi mutatókkal közvetlen kapcsolatba hozhatók az USA MIL-STD-470/471/472/473/478 és az AFSC 80-9 szabványaiban meghatározott, az egy

repült órára jutó kiszolgálási munkaráfordítás, illetve a meglévő, az elért és az üzemeltetési készenléti tényezők. Közülük az egy repült órára jutó kiszolgálási munkaráfordítás (angol nevén a Maintenance Man-Hour per Flying Hour) valójában a kiszolgálás mellett a csapat, vagy tábori körülmények között végzett összes kiszolgálási, karbantartási és javítási munkát figyelembe veszi. Ez jelenleg a korszerű harcászati repülőgépek esetén 15 - 20 munkaóra per repült óra értékre adódik. A meglévő, az elért és az üzemeltetési készenléti tényezők mind az egy meghibásodásig ledolgozott átlagos repülési időt (MTBF = Mean Time Between Failures) viszonyítja az egy meghibásodásra jutó átlagos repülési idő és az egy meghibásodás kijavítására jutó átlagos állásidő összegéhez. A különbség abban van, hogy milyen átlagos állásidőt vesznek figyelembe. A meglévő üzemeltetési tényező lényegében egy készenléti mutató, amely azt mutatja meg, hogy a tervezett karbantartási és javítási munkára fordított idővel nem számolva, milyen valószínűséggel használható rendeltetésszerűen a repülőgép:

$$A_i = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} ,$$

ahol MTTR az egy meghibásodásra jutó átlagos javítási idő (Mean Time To Repair). Ezzel szemben az elért üzemeltetési tényező az egy meghibásodásra jutó átlagos javítási idő megadásakor figyelembe veszi a tervezett karbantartásokra javításokra fordított időnek az adott repülési időre jutó részét is. Ezt az állásidőt nagy M betűvel szokás jelölni:

$$A_a = \frac{MTBF}{MTBF + M} .$$

Végül az üzemeltetési készenléti tényező meghatározásakor az egy meghibásodásra jutó gyakorlati állásidőt, az MDT (Mean Down Time) értékét veszik alapul:

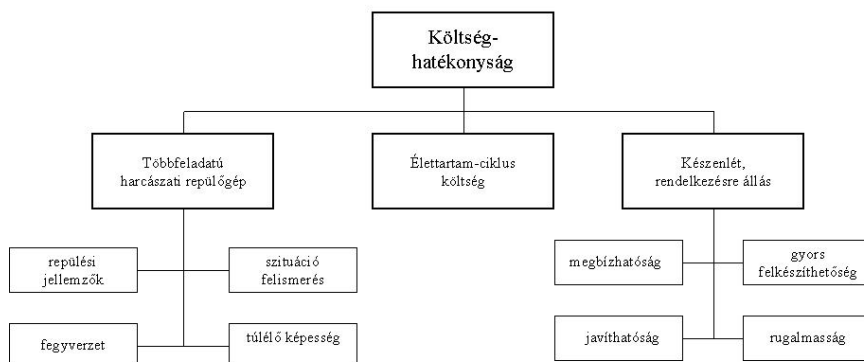
$$A_0 = \frac{MTBF}{MTBF + MDT} .$$

Belátható, hogy az első két mutató a repülőgépet, a repülőgép megbízhatóságát, szerkezeti fejlettségét jellemzi, míg a harmadik mutató a valós üzemeltetési rendszer sajátosságaival is számol.

A modern repülőgépek esetén a meglévő készenléti tényező eléri a 90 %-ot, és az üzemeltetési készenléti tényezőnek az elfogadott értéke harcászati repülőgépek esetében 70 - 85 %.

A repülőgépek tulajdonságainak elemzésekor az üzemeltethetőséget tágabb értelemben vizsgálva egy új megközelítés kapunk, amit a repülőgép funkcionális alkalmazhatóságaként értékelhetünk (1. ábra). Ebben az esetben az üzemeltetési hatékonyságot a harci jellemzők és a rendelkezésre állás (azonnali harci bevetethetőség) határozzák meg. Az első esetben a repülés-technikai tulajdonságok, a fegyverzet, a szituáció felismerő-képesség és a túlélőképesség a döntő. A második csoportba pedig a megbízhatóság, a javíthatóság, a gyors ismételt feladatra való felkészítés (fast turn around) és a rugalmasság tartozik.





1. ábra. A repülőgép alkalmazhatóságát befolyásoló tényezők

A felvázoltakból az a kézenfekvő következtetés adódik, hogy a repülőeszközök beszerzési eljárása folyamatában az elemzések legalább 3 irányban kell, hogy megvilágítsák az egyes tenderező repülőgép típus alkalmazhatóságát. Vizsgálni szükséges a harcászati képességek területét, a típus hadrendbe állításával kapcsolatos költségeket, és a műszaki üzemeltetés területét, úgy korszerűség, mint gazdaságosság és az üzemeltető oldaláról biztosítható készenléti fok szempontjából.

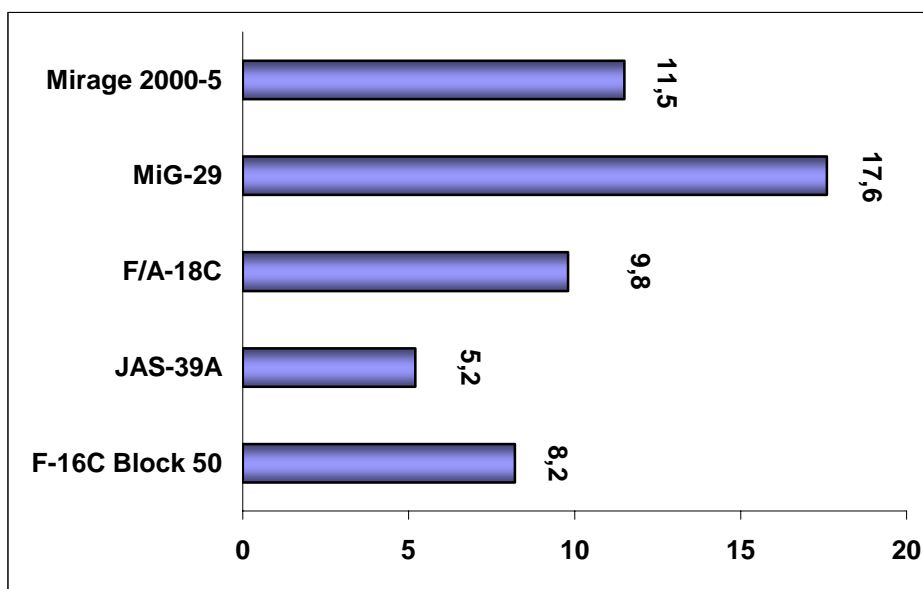
Az általam végzett kutatások e megfogalmazott vizsgálati módszer gyakorlati megvalósítását célozzák. A következő fejezetekben -kiragadott módon-, csupán az üzemeltetési oldal elemzése során felmerült gondolatok közlésére teszek kísérletet.

A többszemponú döntéshozatali módszer e feladatra kidolgozott gyakorlati számításainak elvégzése érdekében az alábbi részterület értékelő táblázatot hoztam létre (2. ábra). A táblázatban összefoglalom a legfontosabb, megfelelő módon kiválasztott értékelési tényezők súlyszámát, és az elemzések eredményeként adódó alszemponatok egyéni súlyszámát és összegzett értékelési pontszámát. A számítások természetesen alszemponatonként és típusonként végzendők

Vizsgált szempont	Súlyszám	Vizsgált jellemző	Súlyszám	PONT ÉRTÉK
ÜZEMELTETHETŐSÉGI MUTATÓK		MEGHIBÁSODÁSOK KÖZÖTTI ÁTLAGOS REPÜLT IDŐ		
		ÉLŐKÉSZÍTÉSI NORMAIDŐ		
		AUTOMATIZÁLTSÁG SZINTJE		
		REPÜLŐGÉP VEZETŐI ERGONÓMIA		

2. ábra. Az üzemeltetési jellemzők összegzett értékelését tükröző táblázat

Az elemzések első lépésében célszerű a legáltalánosabban alkalmazott üzemeltetési mutatókból kiindulni. A repülőgép gyártók által közölt adatok alapján készíthető, egyes, az üzemeltethetőségről és az üzemeltetéshez kapcsolódó fontosabb mutatókról szokásos összehasonlító ábrák egyike a 3. ábrán látható, amely egy repült óra biztosításához szükséges átlagos munkaerő munkaidő ráfordítását tükrözi különböző harcászati repülőgépek esetében.



3. ábra. 1 repült órára eső kiszolgálási munkaidő ráfordítások (MMH/FH)

A fenti ábra két alapvető sajátosságot tükröz. A Mig-29- es kéthajtóműves típus, ezért a kiszolgálási munkák mennyisége kiugrónak tűnik a többi, bemutatotthoz képest. Valójában más kéthajtóműves típussal összevetve nem lenne kiugró a 17,6-os munaráfordítás érték ( F-

18 típus estében 17 óra körüli, F-15 típusnál kb.15 óra érték adódik.). Az összehasonlításunkban azonban természetesen azt tükrözi, hogy a repülőgép műszaki munkaigénye magas, a többi, versengő repülőgéppel összehasonlítva.

A táblázat további érdekessége, hogy bemutatja a műszaki generáció váltás következményeként előálló kiszolgálási munkaigény jelentős csökkentési lehetőségét, (és ezzel együtt a kiszolgáló szervezet létszámának csökkentését) az üzemeltető szervezet részére. Míg ugyanis a korábbi repülőgép típusok ( F-16, Mirage-2000) esetében kijelenthető a kb. 10 munkaóra/repült óra érték átlagos szinten, addig a 4. generációs Gripen ennek körülbelül a fele értéket igényli.

A bemutatott gondolatsor alapján, és az adathalmazok feldolgozása után a 4. ábrán bemutatott összefoglaló táblázat készült.

A repülőgép típusa	F-16C Block 50	JAS-39A	F/A-18C	MiG-29	MIRAGE 2000-5
Két meghibásodás közötti átlagos repült idő (MTBF)	4,3	7,6	3,3	3	6.8
Egy átlagos meghibásodás javítási munkaideje órákban (MTTR)	3,4	2,5	11.1		
Munkaráfordítás (MMH/FH)	8,2	5,2	9,8	17,6	11.5
Óránkénti tüzelőanyag fogyasztás: (kg/repült óra)	3977	2430	4860	4860	
Várható élettartam költség: (USD/repült óra)	6500	4600	8400	17200	
közvetlen üzemeltetési költség (USD/repült óra)	3600	2100	3650	20000	2700

4. ábra. Az üzemeltetési mutatók összefoglaló táblázata

A bemutatott táblázat a dolgozat írásának idején még nem teljes, némely adatok pontosításra szorulnak, némely adatok még beszerzendők. Mégis kijelenthető, hogy bár minden gyártó az üzemeltethetőségi alapadatok terén, több-kevesebb eltéréssel adja meg saját típusának és a konkurens eszközök vonatkozó értékeit, vannak elfogadható megbízhatóságúnak tekinthető adatok. Ilyen paraméter tapasztalatom alapján az MTBF érték is, ezért is választottam az összevetésben elemzendő és értékelendő szempontnak.

Az értékelés folyamatának következő lépéseként a paraméterek értékelési pontszámmá konvertálása szükséges, melyet az 5. ábra mutat be. A pontszámok lineáris arányosság elve alapján kerültek meghatározásra, azaz a legjobb helyezett vizsgált paramétere kapott 100 pontot (100%), a többi az első helyezett értéktől a százalékban meghatározott eltérés mértékében kapta a pontokat.

Helyezés	Repülőgép típus	MTBF érték	Pontszám
1.	JAS-39A	7.6	100
2.	Mirage-2000	6.8	89
3.	F-16C Block 50	4.3	57
4.	Mig-29	3	39

5. ábra. Az MTBF értékek és a helyezési pontszámok

A cikk terjedelmi korlátai miatt az értékelési folyamat további, kijelölt szempontonkénti elvégzését nem mutatom be.

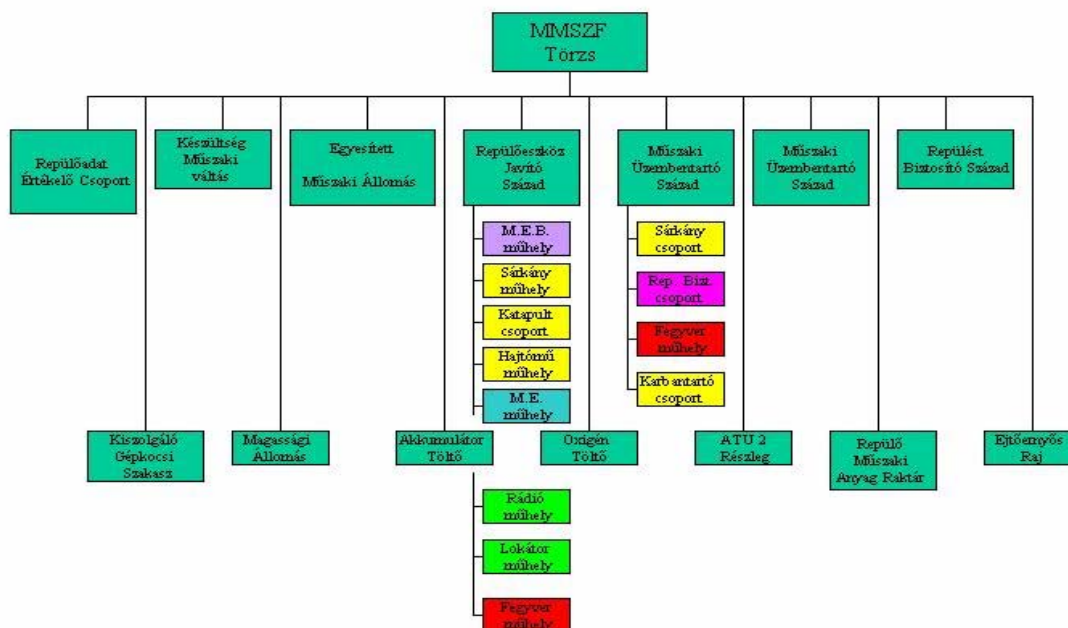
A következő részben azt kívánom bemutatni, hogy a fenti értékelési folyamat végégvitele során, milyen, a témához kapcsolódó egyéb tényezők is előtérbe kerültek.

## II. A repülőeszközök műszaki karbantartásának és javításának szervezete

A repülőeszközöket a világon mindenhol speciálisan e célra létrehozott szervezetek, illetve személyi állomány üzemelteti a földön, esetenként részfeladatokat ellátva a levegőben is. Az MH.-n belül ez a szervezet a Repülő Mérnök-Műszaki Szolgálat (MMSZ).

Az MMSZ rendeltetése mindazon szervezeti, technikai feltételek megteremtése, amelyekkel a repülőeszközök műszaki kiszolgálása és javítása - az előírt sor-rendben és mélységben végrehajtott munkavégzéssel - biztosítja azok üzemképességét és hatékony felhasználhatóságát.

A fenti tevékenységek a feladatok jellegének megfelelő szervezeteket és munkamódszereket igényel (6. ábra).



6. ábra. A Mérnök-műszaki Szolgálat szervezeti felépítése

A szervezeten belül különböző szakmai alegységek kerültek kialakításra, melyek közül kettő (Repülőeszköz Javító Század és a Műszaki Üzemeltető Század) végzi a repülőgépek közvetlen műszaki üzemeltetését. A többi feltüntetett szakmai csoport/részleg a repülőgépek, vagy a repülőtér közvetett üzemeltetésében játszik szerepet. A katonai üzemeltetésben eddig alkalmazott „HARD TIME” elvű üzemeltetési módszer a fenti szervezetet ún. szakágak szerint munkamegosztásban működteti.

A műszaki üzemeltető állomány szakági tagozódása szerint:

- Fegyverzet technikai szakterület (elektromos végzettség)
- Rádió és/vagy lokátoros technikai szakterület (elektromos végzettség)
- Elektromos- Műszer – Oxigén és fedélzeti számítógép szakterület (elektromos végzettség)
- Sárkány-hajtómű szakterület (gépész végzettség)

a munkavégzők végzettsége és a munkavégzés hierarchikus kialakítása alapján

- mérnök; (üzemmérnök);
- technikus,
- mechanikus;

beosztást láthatnak el.

Egy átlagos repülőezred esetében a teljes állomány körülbelül 350-400 fős létszámot tesz ki, és 40 repülőgép műszaki üzemeltetését képes elvégezni a normáknak megfelelően.

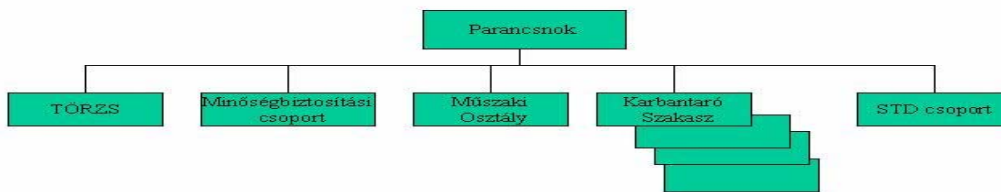
E szervezet, e létszámmal elvégzi a repülőtechnika teljes műszaki munka és ellenőrzési tevékenységi szükségletét az ipari javítások szintjéig.

Tapasztalataim alapján az is megállapítható, hogy az üzemeltethetőségi mutatók biztosítottak, mivel egy kellőképpen kiforrott, munkamódszereiben optimális szervezet szolgálja ki a repülést, és végzi a repülőgépek karbantartását, javítását és állagmegóvását.

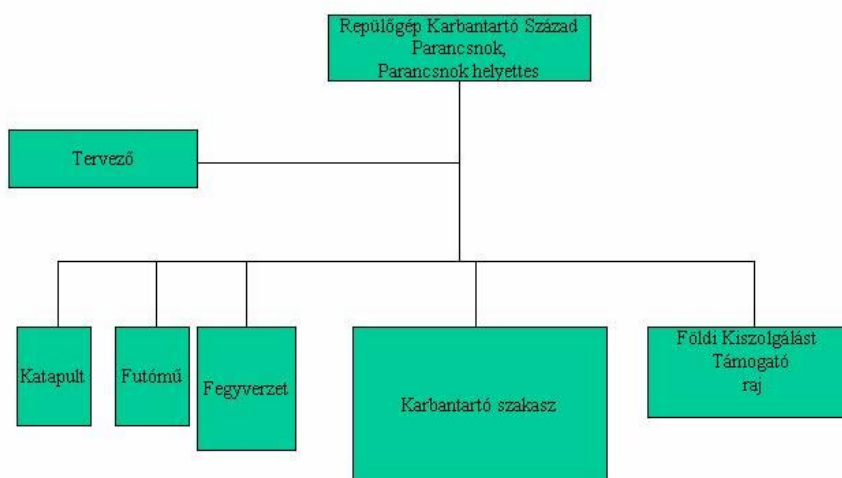
### **III. A hatékonyabb üzemeltetés megvalósításának lehetősége**

Egy új, korszerű repülőgépek rendszerbe állítása nemcsak az üzemeltetés technikai oldalát változtatja meg, hanem komplex, a teljes műszaki vonalat átalakulásra készíti. A változás az infrastruktúra elemein át a műszaki üzemeltető szervezetek felépítését, a szervezeten belüli munkamegosztást, a szakszemélyzetekkel szembeni szakmai elméleti és gyakorlati követelményeket is átalakítja.

Kiindulásképpen vegyük alapul az eredeti, a repülőgép gyártója által létrehozott szervezetet (7. és 8. ábra)



7. ábra. Korszerű, nyugati üzembentartó szervezet fő komponensei



8. ábra. Korszerű repülőgép kiszolgáló század szervezeti felépítése

Mint látható, a MMSZ-hez képest jóval kevésbé tagolt és létszámában is kisebb szervezet biztosítja a repülésék műszaki kiszolgálását. (Kb.250 fő). E szervezet hivatott arra, hogy az előzőekben megjelölt 5.2 munkaóra/repült óra kiszolgálási igényű harcászati repülőgépeket az előírt 90%-os hadrafoghatósági szinten tartsa. A bemutatott állapot egyértelműen előnyös változásokat ígér a repülőgép leendő rendszeresítőinek, hiszen egy jóval gazdaságosabb repülés biztosítás kerülhet bevezetésre.

#### IV. Elmélet és valóság

A rendszer alaposabb elemzése után rá kell ébredni, hogy az alapvetően kitűnő üzemeltetési mutatók teljesítésének nagyon komoly anyagi vonzattal és rendszer átalakítási kötelezettségekkel lehet csak megfelelni.

Ahhoz, hogy a repülőgép műszaki kiszolgálása az előírásoknak megfelelően történjen, át kell alakítani a kiszolgálás helyszínét. A régi, keleti repülőgépek századszintű műszaki kiszolgálása, karbantartása a szabadtéri állóhelyeken, „kutyanyelveken” történt. A kiszolgálási infrastruktúra csupán betonozott talajt, és lámpákkal megvilágított helyet takart. Egy új, korszerű állóhely (lefedés) képe látható a 9. ábrán. A szükséges infrastruktúra kialakítása elengedhetetlen, nem elspórolható, mert az európai környezetvédelmi előírások megkerülhetetlenek és a repülőgép teljes műszaki élettartamának biztosítása is megköveteli a specifikus kiszolgáló és ellenőrző hely kialakítását. (Az álló repülőgép rendszereinek hűtése, veszélyes gázok elszívása, szellőztetés biztosítása, pormentes technológiai környezet biztosítása érdekében).



9. ábra Korszerű üzemeltető hangár

Egyértelműen megállapítható, hogy az előírt üzemeltethetőségi paraméterek biztosításához az előírt infrastruktúra elengedhetetlen. Alaposabb elemzéssel érdemes lenne külön megvizsgálni, hogy az általunk lerepülni kívánt repülési időtartam munkaerő költségvonzata és a szükséges létesítményi beruházások együttese vajon milyen élettartam költséget eredményezne, és ez hogyan viszonyul más, esetleg kicsit nagyobb munkaerő kapacitást, de kisebb rendszerbe állítási költség komponensű jelentő típusokhoz kapcsolódó költségekhez.

Az üzemeltetés hatékonyságának másik, nem kevésbé fontos eleme a személyi állomány. Az első tapasztalatok azt mutatják, hogy két eltérő üzemeltetési rendszerű repülőeszközt ugyanazzal a kiszolgáló műszaki állománnyal nem lehet eredményesen és gazdaságosan üzemeltetni. A hatékonyság csökkenés nemcsak a munkamennyiség megnövekedésében keresendő, hanem a „több típusosság” is jelentős mértékben képes lerontani a javításhoz kapcsolódó idő intervallumokat (MTTR). A karbantartó szervezetben a szakembernek naponta áttérni másik és másik repülőgép típus sajátosságaira, rendkívüli erőfeszítéseket

okoz. Ha még ezt sikerül párosítani két eltérő üzemeltetési stratégia cserélgetésére is, nos az eredmény kézzelfoghatóan kimutatható a karbantartási idő rendkívüli megnövekedésében.

A személyi állomány következő, (rövidtávon semmiféleképpen nem orvosolható) problémája a szakmacsoportok szerinti munkavégzés kialakult rendszerének átalakítása. Mint azt az MMSZ szervezeti és működési sajátosságánál taglaltam a régi rendszerben szakmai végzettség alapján töltöttek be a szakemberek valamilyen üzemeltetési munkakört. Gépész végzettségűek alapvetően a repülőgép sárkányszerkezetét és a hajtómű szerkezetét tartották üzemben, a villamos végzettséggel rendelkezők pedig a repülőgép többi rendszerét, differenciált szakosodás alapján. Az egyes „szakágak” jól behatároltan különültek el a munkamegosztásban.



10. ábra. A repülőgép felosztása material group elv alapján

A bemutatott bontásban jól látszik, hogy a szakágak számához képest (4 db) jelentősen több material group került kialakításra. Az üzemeltetési szinten a probléma ott keletkezik, hogy ezek az „anyag csoportok” nem igazodnak a mi szakág szerinti képzettségünkhöz. Vagyis a gépész sok esetben elektromos, villamosmérnöki jellegű meghibásodást kell, hogy javítson, fordítva pedig villamos szakemberek gépész jellegű problémával találják szemben magukat. Szakembereink mentségére legyen mondva, nagy igyekezettel végzik munkájukat, de egy-egy meghibásodás javítása a sok munkaórányi után -olvasás, technológia tanulmányozás következtében jelentősen meghaladja a gyári számított normaidőket.

A fenti felvázolt jelenségek megállapításom szerint, negatív hatást gyakorolnak a korszerűnek tartott üzemeltetési rendszer rendelkezésre-állási és munkaerő kapacitási paramétereire.



Az utóbbi probléma megoldása a teljes képzési rendszer átalakítását követelné, melynek eredménye leghamarabb az új képzés beindítását követően minimum 3 év múlva lenne tapasztalható. (Ha hozzászámítjuk a képzés beindítására fordított időt, akkor ez újabb 1.-2 évet csúsztatna a kibocsátás várható időpontján.)

A probléma átmeneti megoldására egy részben átalakított karbantartó szervezet kialakítása tűnik a legmegvalósíthatóbbnak. Az átalakítás alapja a meglévő repülőeszköz javító szervezet szakági műhelyek szerinti tagozódása. E struktúra műhelyeinek illetékességi köreit bővítve, a „material groupok” a rendszertechnikai szoros kapcsolódások révén beilleszthetők lennének a kiszolgáló, javító szakműhelyek rendszerébe. Egy ilyen lehetséges kialakítást szemléltet a 11. ábra.

A műhely	B műhely	C műhely	D műhely	E műhely		
ENGINE WORKSHOP	AIRFRAME WORKSHOP	AVIONICS WORKSHOP	WEAPON WORKSHOP	EJECTION-SEAT WORKSHOP	COMMUNICATION WORKSHOP	RADAR WORKSHOP
38 - Secondary power system	30/31 - Structure / Airframe	34 - Flight control system	41 - Armament installation	32 - Escape & Oxygen system	63 - Primary flight data and Navigation system	66 - Target acquisition
51/52 - Engine RM12	33 - Landing gear system	39 - Electrical power & lighting system	67 - Electronic warfare system		64 - Communication system	68 - Electronic display system, Control system and video recording
36 - Environmental Control system	35 - Hydraulic system	69 - Maintenance data recording system	72 - Weapon delivery and control system		62 - System computer and interface units	65 - Identification system
	37 - Fuel system		80 - External stores			
	tyre shop	battery shop				
	metal, and composite workshop					

11. ábra. A material groupok beágyazása a szakági rendszerbe (egy lehetséges változat)

Az átalakított szervezetben az illetékességek arányos módon, minden szakági csoportot körülbelül egyenletesen terhelve kerültek beintegrálásra. E kialakítás képes biztosítani a még régi Hard Time elvű üzemben tartást is, mivel megmaradnak a régi szakműhelyek teljes változatlan munkaképességükkel, és egyfajta bővítményként kerülnek be

az új repülőgép karbantartásához szükséges rendszermodulok. E módosítás eredményeképpen talán sikerül biztosítani Magyarországon is a meghibásodások javításához átlagosan 150 percben megadott MTTR időtartamot.

#### Felhasznált irodalom:

1. Clementson R.: A JAS 39-es összehasonlítása az F-16-os és Míg-29-essel
2. Varga, F.,: ., A légi harc változása az I. világháborútól napjainkig, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Phd értekezés, Budapest, 2001
3. F-16 Aircraft for the Defense of Hungary , US Government , 1995
4. Dr. Óvári Gy.: Vadászipülőgépek hatékonysági mutatói, ZMNE, Budapest, 2001

## PILÓTA NÉLKÜLI REPÜLŐGÉPEK POLGÁRI ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEINEK VIZSGÁLATA

*Eme cikk megírásához – sok egyéb motivációs tényező mellett – az egyik kereskedelmi televízió-csatorna általam kedvelt műsora adta a kezdőrúgást. Nyár lévén, szokásos módon „járattam körbe” a TV-csatornákat, a távirányítót – természetesen – ki nem adva a kezemből. Kedvenc műsorom, amely éppen lejtmenetben lévő, vendégek hiányában üresen tátongó éttermeket próbált helyes üzleti pályára állítani, éppen egy angol kikötőváros rakparti éttermében játszódtott. rempsi, a konyhafőnökök rémálma, éppen az étlapot tanulmányozta, és megállt a „kék kagyló fehér boros mártásban” előételnél. Aztán a mi rempsi-nk megkérdezte a tulajdonost, hogy komolyan gondolja-e 25 £-ért adni ezt a szörnyűséget?! Az étterem tulajdonosa kikérte magának, hogy így minősítsék az étlapja különlegességét. Erre a mi rempsi-nk azt mondta: tegyenek egy próbát! Készítsék el azt a bizonyos éttermi büszkeséget, és próbálják meg eladni a rakparton sétálóknak, vagy az ott horgászóknak. Ezüst tálcáról kínálgatták a nem mindennapi csemegét. Az első kiszemelt, mikor meglátta a tálca tartalmát, utálattal fordult el a kagylótól. A másik kiszemelt megkóstolta ugyan, de azt mondta, nemhogy fontot, de még egy penny-t sem adna ezért a fürmedvényért! A következő horgász már megkóstolta, és azt mondta: szereti a kagylót, és meg is venné. Arra a kérdésre, mennyit lenne hajlandó fizetni egy étteremben ezért az előételért, azt felelte: talán 5 £-ot, de ez a maximum! Erre aztán az étterem tulajdonosa magába roskadt, és elkezdett a vendég orrával, szemével, és a szájával gondolkodni ...*

### I. BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS, MOTIVÁCIÓ, AKTUALITÁS

Divatos, és egyben hálás téma ma pilóta nélküli repülőgépekkel foglalkozni. A műszaki tudományoknak szinte nincs is olyan szegmense, amely ne foglalkozott volna már ilyen, vagy olyan mértékben a pilóta nélküli repülőgépek valamilyen problémakörével. Alkottunk már koncepciókat, terveztünk már földi üzemeltető rendszereket, tettünk már javaslatot, nem is akármennyit, de tengernyi, hogy milyen típusú szabályozó irányítsa a mini repülőgépet. Vizsgáltuk, hogy a pilóta nélküli repülőgép milyen algoritmus alapján hajtsa végre a leszállóhely megközelítését, ha erős turbulencián keresztül történik mindez, de a végeredmény – véleményem szerint – lesújtó... a honvédelmi tárcának – a tárca által hosszú időn keresztül finanszírozott saját UAV<sup>2</sup> kutatási programja elért eredményei ellenére – nemzetközi közbeszerzési pályázatot kellett kiírnia a Magyar Honvédség Tartományi Újjáépítési Csoport (MH PRT<sup>3</sup>) Afganisztánban állomásoztatott erői védelmi képességeinek javítása érdekében. Az elmúlt évben, valamint az idén mindez meg is történt, és a pályázaton győztes külföldi repülőgép már a légi alkalmassági vizsgán is megfelelt: jelenleg is folyik a kezelőszemélyzet kiképzése. A pilóta nélküli repülőgép hadszíntéri alkalmazására – várhatóan – 2008-tól kerül sor.

A pilóta nélküli repülőgépek a világ sok országában valóban széles körben nyernek alkalmazást, míg Magyarországon szinte ismeretlen ennek az eszköznek a modern értelemben vett alkalmazása. Felmerül a kérdés: *mi ennek az oka?* Talán az információ hiánya?! Tekintettel a modern világ által

<sup>1</sup> egyetemi docens, mb. igazgató

Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Bolyai János Katonai Műszaki Kar  
Katonai Gépész-, Műszaki és Biztonságtechnikai Mérnöki Intézet  
1581 Budapest. Pf. 15.  
[szabolcsi.robort@zmne.hu](mailto:szabolcsi.robort@zmne.hu)

<sup>2</sup> UAV – Unmanned Aerial Vehicle – pilóta nélküli repülőgép

<sup>3</sup> MH PRT – Magyar Honvédség Provincial Reconstruction Team (MH Tartományi Újjáépítési Csoport)

biztosított információ-áradatra, ez nem valószínű. Talán a kutatók elefántcsont-tornya és az alkalmazók rideg világa közötti távolság az ok?! Ez sem lehet igazán valós ok, hiszen a hazai kutatói- és alkalmazói kör meglehetősen korlátos: időben szinte belátható távon a piac szereplői egymással találkoznak. Természetesen, ez a hipotetikus és elméleti kérdéssor tovább folytatható, de úgy vélem, hogy ezen okok keresése egy következő kutatás tárgya lehet. Mi azonban álljuk meg egy pillanatra ezen a ponton!

Felmerül a kérdés, hogy egy eredményes alkalmazott kutatás *termékei* hogyan hasznosulnak később?! Szélsőséges esetben, egyáltalán, hasznosulnak-e?! Végül is, oda érkezünk, hogy fel kell tenni a megkerülhetetlen kérdést: a piaci szereplők egymásra találnak-e az információs bábeli zűrzavarban?! Véleményem szerint ez nem mindig történik meg!

Egy másik fontos, és talán a legfontosabb szempont, amit a korábban feltett kérdésre adandó válasz keresésekor vizsgálnunk kell: ha a piaci szereplők egymásra is találnak, a piaci keresletet ébresztő oldal elfogadja-e a kor minden vívmányát felsorakoztató UAV eszközöket, vagy sem?! Elfogadja-e a vásárló/alkalmazó a tervezők maximalizáló, minden területen *high-tech*<sup>4</sup>-et felvonultató tervezési filozófiáját, vagy az UAV-vásárlás előtt más szempontok alapján dönt?! Ugyanezen történet másik olvasata: elfogadja-e a tervező/fejlesztő, hogy a vásárló/alkalmazó nem feltétlenül keresi a piacon az általa kínált terméket, mert annak – esetleg – túlságosan magas, vagy magasnak vélt a beszerzési-, illetve az üzemeltetési költsége?! Másképpen fogalmazva: a tervező/fejlesztő maximalizáló, és a vásárló/alkalmazó minimáló törekvései lehetővé teszik-e, hogy a piacon az adott termék/szolgáltatás kelendő legyen?!

Felmerül a következő kérdés is: az alkalmazott kutatások során mennyire érvényesülnek a szakmai előírások és követelmények, és milyen súllyal veszik figyelembe a piacon a *vásárlói* szempontokat?! Nyilvánvaló, korábban, amíg a fejlesztési források jóval nagyobb mértékben álltak rendelkezésre, ez a kérdés nem nyomott igazán a latban. A közeli és a távolabbi jövő egyik fontos kihívása a források korlátozott volta, amit hosszú időn keresztül a piac szereplői – következmények nélkül – nem hagyhatnak figyelmen kívül. A másik, ma már szintén nagyon fontos tényező: az idő kérdése. Hogyan alakulnak ki a piacon a keresleti viszonyok, és meddig érzékelhető egy adott termék iránt a kereslet?!

Visszatérve az eredeti, az összefoglaló részben ismertetett példára: lehetséges, hogy *25fontoskékkagylót* akarunk eladni, miközben a piac nem azt várja a szolgáltatói oldaltól, amit jelenleg nyújt, vagy amire jelenleg képes?!

A felmerülő újabb probléma: a kutató/fejlesztői oldal minek tekinti a kutató-fejlesztő munkájának eredményeit?! Szigorúan véve tudományos eredménynek, amit szakmai műhelyek minősítenek, és fogadnak el, vagy utasítanak el, esetleg közzé is tesznek valamilyen periodikumban. A másik kihívás: hajlandó-e a kutató megmérettetni a piacon a termékét, az alkotó-teremtő munkájának eredményét, esetleg halandó el is adni azt?!

Egy biztos: a folyamatosan megújuló, és gyorsuló piacgazdasági folyamatokat befolyásolni nem tudjuk. Marad a remény: az elsők között rohanunk előre, de az is nagy eredmény, ha nem nagyon maradunk le a globális piacon a többi nagy *játékos*tól.

A következő kérdéskör, ami foglalkoztat(hat)ja a tervezőket: milyen képességeket vár el az alkalmazó, mit szeretne kapni a pénzéért a vásárló?!

A vásárló a vételár megfizetésével elismeri-e egy adott UAV esetében, hogy annak repülésszabályozó rendszerét, éveken keresztül, pl.  $\mu$ -szintézis módszerrel, vagy hurokátvitel visszaállítási LQG-módszerrel tervezték?!

Egyébként, a tervezői oldal is nagy kihívás előtt áll: milyen tervezési filozófiát válasszunk abban az esetben, ha az UAV erdőtüzek felderítésére, vagy hadszíntéren az ellenséges célpontok felderítésére szolgál, és a bevetésről – az esetek egy jelentős részében nem is tér haza az UAV, és sok esetben, mint egyszerű használatos fogyóeszközre tekintenek rá?!

Alapos a feltételezés, hogy a vásárló nem ebben a fogalmi körben gondolkodik, sőt, meg sem érti eme fogalmakat, de nem is érdekli: számára egy olyan repülőeszköz szükséges, amely képes ellátni a

---

<sup>4</sup> high technology – magas szintű technológia

feladatát, olyan képességekkel bír, amelyre az alkalmazónak szüksége van, és azokat használja is, és végül, de nem utolsó sorban: az UAV kellően olcsó legyen, hogy megérje azt alkalmazni.

A szerző eme dilemmák feloldására, a felmerült kérdések legalább részleges megválaszolására, és újszerű megvilágítására országos, reprezentatív felmérést végzett az UAV-k hazai lehetséges polgári alkalmazói körében. A fő cél azon kérdések megválaszolása volt, amit már előljáróban is felvázoltam: ne (csak) a tervező/fejlesztő felfogásában próbáljunk meg értéket előállítani, hanem – elsődleges legyen – a vásárlói/alkalmazói oldal igénye, és egy adott termékkel szemben támasztott elvárása, majd az adott eszköz üzemeltetése során maradéktalanul elégedett legyen!

A kérdőíves felmérés alapvető célja volt azon UAV-képességek meghatározása, amelyeket az alkalmazó elvár a fejlesztőktől. Mivel az információgyűjtés alapvetően képességek, műszaki paraméterek, követelmények, elvárások, és egyéb szakmai igények összegyűjtésére és elemzésére szolgált, ezért a megkérdezett csoportok jellege – az általuk megfogalmazott műszaki-, és egyéb más igények összesítése után – már nem releváns. Ennek megfelelően, az egyes piaci szereplőket, illetve csoportokat kóddal jelöli a szerző, pl. Alpha-csoport, Bravo-csoport stb. A válaszadók anonimitásának megőrzése szintén azt indokolja, hogy az egyes válaszadói csoportokat úgy jelöljük meg, hogy később sem a válaszadói csoport jellege, sem annak tagjai ne legyenek azonosíthatóak.

## II. A FELMÉRÉS FONTOSABB JELLEMZŐI

A szerző eme kutatási módszert, a kérdőíves felmérést először alkalmazta. Tekintettel arra, hogy nem volt korábbi tapasztalat, és tudás sem hasonló tartalmú kérdőív kérdéseinek összeállítására, ezért a szerző igyekezett a kérdéseket úgy megfogalmazni, hogy azok – a lehető leginkább – közérthetőek legyenek, és a kérdések érthetlensége ne riassza el a válaszadókat – a válaszok viszont kellő mélységű információt adjanak a tervezői/fejlesztői oldal képviselőinek.

A másik dilemma: ha sikerül is olyan kérdőívet összeállítani, amit akár megértenek a piaci szereplők, milyen a téma aktualitása, illetve beágyazottsága a meginterjúvált szakmák körében?!

A kérdőívek kiküldésére 2007. május és 2007. július között került sor, ami a nyári szabadságolások közelsége miatt ugyan nem szerencsés, de a szerző vállalta eme kockázatot is. A kérdőívek fogadtatása, és megválaszolása később visszaigazolta a szerző optimista hozzáállását.

A következő megoldandó feladat az volt, hogy milyen körben történjen meg a szakemberek interjúvolása?! A szerző e kérdés megválaszolásakor úgy döntött, hogy elsődleges szempontot képviselnek: hazánk Euro-atlanti tagságából eredő kötelezettségeinek teljesítése, a rendvédelem, a környezetvédelem, a természetvédelem, a katasztrófavédelem, a tűzvédelem, a mezőgazdaság, az erdőgazdálkodás, az energiaipar, valamint a közlekedés különféle ágazatai. Tekintettel az esetleges UAV alkalmazási sajátosságokra, természetesen, e területek közül a cikk csak a lehetséges polgári alkalmazások köréről szól, mivel a katonai alkalmazások teljesen más körülmények, és más feltételek mellett történnek meg.

## III. A FELMÉRÉS FONTOSABB EREDMÉNYEI

### 3.1. Alapfogalmak, definíciók

A kérdőíves felmérés kiértékelése előtt elengedhetetlenül szükséges néhány fogalom definiálása, amelyek az alábbiak:

- ✍ *postázott kérdőív*: a szerző által összeállított adatbázisban szereplő partnerek részére megküldött kérdőív;
- ✍ *kézbesített kérdőív*: azon kérdőív, amelyik nem érkezett vissza – bármilyen jogcím alapján is – a szerzőhöz. A felmérés eredményeinek kiértékelése során akkor fogadható el egy csoport

tevékenysége, és akkor értékelhető ki a partnerek véleménye, ha a postázott felkérések legalább 90 %-a kézbesítésre is került.

- ☞ *Nem kézbesített kérdőív:* a szerzőhöz – függetlenül a jogalaptól – visszaérkezett felkérő levelek, amelyek nem érkeztek meg a véleménynyilvánításra felkért partnerhez;
- ☞ *megválaszolt felkérés:* a véleménynyilvánításra felkért partnerek – a szerző részére – megküldött válaszlevélben nyugtázzák a kérdőív kézhezvételét. A megválaszolt felkérések száma, amelyet a kézbesített kérdőívekhez viszonyítunk, az én értelmezésemben arról hordoz információt, hogy az adott téma (e cikkben: pilóta nélküli repülőgépek lehetséges alkalmazásai) mennyire *beágyazott* egy szakmai csoport munkájába, gondolkodásába, értékrendjébe. Egyáltalán, van-e információja arról, hogy az ő szakmai területén milyen nemzetközi tapasztalattal rendelkeznek az UAV alkalmazók?! A felmérés eredményei akkor kiértékelhetők, ha a kézbesített felkérések legalább 50 %-át megválaszolják a partnerek.
- ☞ *kitöltött kérdőív:* a véleménynyilvánításra felkért partnerek a szerző részére megküldött válaszküldeményei, amelyekhez kitöltött kérdőívet is mellékeltek. A későbbi adatfeldolgozás során az adott célcsoport szakmai véleménye csak és kizárólag akkor kerül összesítésre és kiértékelésre, ha a felkérésre válaszolók legalább 75 %-a ki is töltötte a kérdőívet.

A véleménynyilvánításra felkért célszemélyek csoportjának összeállításakor a szerző azokat a nyílt adatforrásokat alkalmazta, amelyek mindenki számára elérhetőek, pl. az állami, és a nem állami szervezetek, intézmények, valamint a felsőoktatási oktatási-kutatási intézmények internetes oldalai. Nem szabad figyelmen kívül hagyni azonban, hogy eme felmérés adatbázisának összeállítása során a szerző – bizonyos esetekben, egyfajta módon – önkényesen járt el, ugyanis számos terület esetén – a szerző a rendelkezésre álló saját anyagi erőforrásainak korlátos volta miatt – véletlenszerűen választott a véleménynyilvánításra kizemelt célszervezetek, és célszemélyek közül.

A felmérés bizonyos értelemben és bizonyos esetekben, tekinthető reprezentatívnak is, pl. a felmérés során az összes haza nemzeti park igazgatóságát, az összes megyei katasztrófavédelmi igazgatóságot, az összes környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságot felkérte a szerző a kérdőív kitöltésére.

### 3.2 Az Alpha-csoport kérdőíveinek elsődleges statisztikai adatai

Az Alpha-csoport összesen 10 elemű halmaz. A kiküldött kérdőívek alapján a csoport tevékenységének statisztikai adatait az 1. táblázat foglalja össze.

Az Alpha-csoport statisztikai adatai

1. táblázat

Postázott kérdőívek száma		Kézbesített kérdőívek száma		Nem kézbesített kérdőívek száma		Megválaszolt felkérések száma		Kitöltött kérdőívek száma	
darab	%	darab	%	darab	%	darab	%	darab	%
10	100	10	100	0	0	7	70	6	≅ 85,71

Az 1. táblázat alapján elmondható, hogy:

- ☺ a postázott kérdőívek (10 darab) mind kézbesítésre kerültek (100 %). A csoport tevékenysége kiértékelhető.
- ☺ A kézbesített 10 felkérésre 7 válasz érkezett (70 %), a csoport adatszolgáltató tevékenysége tehát kiértékelhető.
- ☺ A kérdőívet 6 fő töltötte ki, ami a megválaszolt felkérések 85,71 %-a.

Az Alpha-csoport tevékenységéről összességében elmondható: a csoport reprezentatív, a csoport összes (10) hazai szervezete felkérést kapott a kérdőív kitöltésére. A csoport szakemberei az UAV-k alkalmazási területeiről széleskörű ismeretekkel rendelkeznek. A csoport szakmai elméleti-gyakorlati ismereteiben a téma beágyazott, az UAVk alkalmazásáról pozitívan nyilatkoznak. A csoport aktívan vett részt a kérdőív kitöltésében.

### 3.3 A Bravo-csoport kérdőíveinek elsődleges statisztikai adatai

A Bravo-csoport 13 elemű halmaz. A kiküldött kérdőívek alapján a csoport tevékenységének statisztikai adatait a 2. táblázat foglalja össze.

A Bravo-csoport statisztikai adatai

2. táblázat

Postázott kérdőívek száma		Kézbesített kérdőívek száma		Nem kézbesített kérdőívek száma		Megválaszolt felkérések száma		Kitöltött kérdőívek száma	
darab	%	darab	%	darab	%	darab	%	darab	%
13	100	13	100	0	0	10	≈ 76,92	11	110

A 2. táblázat alapján elmondható, hogy:

- ☉ a postázott kérdőívek (13 darab, amely 12 szervezetet, és egy jogi személyiséget takar) mind kézbesítésre kerültek (100 %). A csoport tevékenysége tehát kiértékelhető.
- ☉ A kézbesített 13 felkérésre 10 partnertől (9 szervezet, egy jogi személyiség, ≈ 76,92 %) érkezett válasz, a csoport adatszolgáltató tevékenysége tehát kiértékelhető. Megemlíteni szükséges, hogy a válaszadásra felkért 12 szakmai szervezet közül 3 nem válaszolt a megkeresésre.
- ☉ A 11 visszaküldött és kitöltött kérdőívet 8 partner (7 szervezet, és egy jogi személyiség) töltötte ki, illetékességi okok miatt egy szervezet 4 osztálya is megküldte a kitöltött kérdőíveket. A kitöltött kérdőívek aránya megválaszolt felkérésekhez képest 110 %, vagyis a csoport adatszolgáltatási tevékenysége kiértékelhető.

A Bravo-csoport tevékenységéről elmondható: a csoport reprezentatív, a csoport összes hazai szervezete (12) felkérést kapott a kérdőív kitöltésére. A megkérdezett 12 szervezet közül 7 (≈ 58,33 %) válaszolt a kérdőív kitöltésével, 2 szervezet (≈ 16,66%) jelezte, hogy kompetencia hiányában nem tudja kitölteni a kérdőívet, és végezetül, 3 szervezet (25%) semmilyen módon sem reagált a megkeresésre. Ebben az értelmezésben azonban vizsgálat tárgyát képezheti, hogy miért volt ilyen alacsony a részvételi arány?!

Ebben a statisztikai értelmezésben már rosszabb paramétereket kapunk, mint a kiindulási esetben. A relatív alacsony részvételi arány – a képviselt szakmai területek, pl. vízügy, környezetvédelem – ismeretében nehezen magyarázható, hiszen hazánk az elmúlt néhány évben számos jelentős árvíznek, valamint belvíznek volt kitéve, és tekintettel a klímaváltozás várható következményeire, ez a későbbiekben sem lesz másként: vélelmezhetően még nagyobb extremitással, még szélsőségesebb módon jelentkeznek majd a környezeti hatások.

Tekintettel a partnerek relatív alacsony részvételi arányára, a Bravo-csoportról – általában – elmondható: az UAVk lehetséges alkalmazását nem, vagy csak részben látják szükségesnek, e szakmai körökben a téma nem, vagy csak részben *beágyazott*. A csoport tagjai e véleményüknek hangot is adtak a válaszleveleikben, illetve a témával kapcsolatban további információkat kértek az UAV lehetséges alkalmazásairól.

### 3.4 A Charlie-csoport kérdőíveinek előzetes statisztikai adatai

A Charlie-csoport összesen 11 elemű halmaz. A kiküldött kérdőívek alapján a csoport tevékenységének statisztikai adatait a 3. táblázat foglalja össze.

A Charlie-csoport statisztikai adatai

3. táblázat

Postázott kérdőívek száma		Kézbesített kérdőívek száma		Nem kézbesített kérdőívek száma		Megválaszolt felkérések száma		Kitöltött kérdőívek száma	
darab	%	darab	%	darab	%	darab	%	darab	%
11	100	11	100	0	0	6	$\cong 54,54$	5	$\cong 45,45$

A 3. táblázat alapján elmondható, hogy:

- ☉ a postázott kérdőívek (11 darab) mind kézbesítésre kerültek (100 %). A csoport tevékenysége kiértékelhető.
- ☉ A kézbesített 11 felkérésre 6 válasz érkezett ( $\cong 54,54$  %), a csoport adatszolgáltató tevékenysége tehát kiértékelhető.
- ☉ A kérdőívet 5 fő töltötte ki, ami a megválaszolt felkérések  $\cong 83,33$  %-a.

Az Charlie-csoport tevékenységéről összességében elmondható: a csoport reprezentatív, a csoport összes (11) hazai szervezete felkérést kapott a kérdőív kitöltésére. Mindazonáltal, elgondolkodtató, hogy a partnerek  $\cong 45,45$  %-a egyáltalán nem tartotta fontosnak és érdemesnek a témát arra, hogy a megkeresésre válaszoljon, és hazánk schengeni határ védelmi feladatait – esetleg nagyban támogató – UAV alkalmazásokról érdemben véleményt mondjon. További kutatások tárgyát képezheti, hogy a máshol már eredményesen alkalmazott technikai-technológiai eszközök és módszerek miért nem terjedtek el hazánkban is, legalábbis azon a szinten, hogy a határvédelemben az egyes partnerek ismerjék a lehetséges eszközök arzenálját.

### 3.5 A Delta-csoport kérdőíveinek előzetes statisztikai adatai

A Delta-csoport összesen 20 elemű halmaz. A kiküldött kérdőívek alapján a csoport tevékenységének statisztikai adatait a 4. táblázat foglalja össze.

A Delta-csoport statisztikai adatai

4. táblázat

Postázott kérdőívek száma		Kézbesített kérdőívek száma		Nem kézbesített kérdőívek száma		Megválaszolt felkérések száma		Kitöltött kérdőívek száma	
darab	%	darab	%	darab	%	darab	%	darab	%
20	100	20	100	0	0	13	65	12	$\cong 92,3$

A 4. táblázat alapján elmondható, hogy:

- ☉ a postázott kérdőívek (20 darab) mind kézbesítésre kerültek (100 %). A csoport tevékenysége kiértékelhető.
- ☉ A kézbesített 20 felkérésre 13 válasz érkezett (65 %), a csoport adatszolgáltató tevékenysége tehát kiértékelhető.
- ☉ A kérdőívet 12 szervezet töltötte ki, ami a megválaszolt felkérések  $\cong 92,3$  %-a.

A Delta-csoport tevékenységéről összességében elmondható: a csoport reprezentatív, a csoport összes (20) hazai szervezete felkérést kapott a kérdőív kitöltésére. Figyelemre méltó azonban, hogy a partnerek 65 %-a adott választ a megkeresésre, ami – tekintettel e csoport speciális, katasztrófavédelmi feladataira – egyáltalán nem mondható magas részvételi aránynak.



## IV. KÖVETKEZTETÉSEK

A pilóta nélküli repülőgépek lehetséges alkalmazásának területeit, egy országos szinten, sok tekintetben reprezentatív kérdőíves felmérési módszer segítségével elemeztem. A kutatás fő céljai az alábbiak voltak:

- ☞ megvizsgálni, hogy egy adott témakörben milyen aktivitással nyilatkoznak a meginterjúvált szereplők?
- ☞ megvizsgálni, hogy milyen a téma aktualitása, beágyazottsága az egyes szakmák gondolkodásában?
- ☞ ha az egyes szakmák ismerik, akkor milyen képességeket várnak el egy UAV repülőeszköztől?
- ☞ bár nem képezte a vizsgálatok központi helyét és kiemelt tárgyát, de fontos volt megvizsgálni, hogy szükségesnek, esetleg lehetségesnek tartják-e az egyes szakmai körök az UAV alkalmazásokat?!

E cikkben négy szakmai szervezet előzetes statisztikai adatait mutattam be. A statisztikai adatok előzetes kiértékeléséhez követelményeket határoztam meg, hogy milyen feltételek mellett lehet elfogadni a „csoport” véleményét szakmai reprezentatív véleményként. A bemutatott négy csoport adatszolgáltatási aktivitása alapján mind értékelhető adatot adott, de a Charlie-, és a Delta-csoportok tevékenysége és aktivitása az előre meghatározott statisztikai minimumokat alig meghaladó paraméterekkel jellemezhető. E csoportok kiemelt jelentőséggel rendelkeznek ma is, és vélelmezhetően a klímaváltozás negatív hatása erősíti és kiterjeszti majd szerepüket főleg a katasztrófavédelemben, valamint a határvédelemben.

A cikkben bemutatott négy csoport által kitöltött kérdőívek tehát kiértékelhetőek, a pilóta nélküli repülőgépekkel szemben támasztott szakmai követelmények összegezhetőek.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerző ezúton köszöni meg minden, állami- és nem állami szakmai-, és adminisztratív szervezet, jogi- és természetes személy, oktató- és kutató kolléga segítségét, amely lehetővé tette a szerző számára, hogy kutatói tevékenységét további új és érdekes területek felé is kiterjessze.



## **FÚRÓKOPÁST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK VIZSGÁLATA MODELLEZÉSEL**

### **1. BEVEZETÉS**

Az Európai Unión belül egyre szigorúbb környezetvédelmi előírások és törvények jelennek meg, ezért a környezetterhelés minimalizálása elvének megvalósítása egyre sürgetőbb igényként merül fel a gépgyártástechnológiában is. Emiatt indokolt a forgácsolástechnológiákban alkalmazott hűtő-kenő rendszerek felülvizsgálata, a működtetésükkel járó problémákra korszerű megoldási javaslatok kidolgozása.

Néhány kivételtől eltekintve (magnézium, öntöttvas, néhány műanyag) a forgácsolás során a hűtő-kenő anyagok alkalmazása kedvező, különösen a furatmegmunkálásoknál, ahol a hűtő-kenő folyadékot közvetlenül a nyírási zónához, a hőforrás környezetébe juttatják. A hűtő-kenő folyadékok gondoskodnak a gyors hőelvezetésről, csökkentik a súrlódást, elősegítik a forgács eltávolítását, ennek következtében előnyeik egyértelműek:

- a szerszám élettartama meghosszabbodik, a szerszámköltség csökken,
- a megmunkálási idő rövidül,
- a megmunkálás termelékenysége nő,
- a forgácsolási folyamat megbízhatósága javul.

A hűtő-kenő folyadékok alkalmazása azonban egyre növekvő egészség- és környezetvédelmi, technikai és gazdasági problémát vet fel, mivel a hűtő-kenő anyagok:

- regenerálása, tárolása, megsemmisítése költséges,
- jelentős környezetterhelést okoznak,
- bizonyítottan egészségkárosító hatásuk van (bőrbetegségek, allergia, légutak megbetegedése, stb.)
- áruk folyamatosan emelkedik.

Ezekre a problémákra a forgácsoló üzemek olyan megoldásokat keresnek, amelyekkel csökkenthetik a hűtő-kenő anyag felhasználásukat, illetve amelyekkel a forgács és az elhasznált hűtő-kenő folyadék könnyen eltávolítható, kezelhető. Ugyanakkor igyekeznek csökkenteni a hűtő-kenő anyagoknak a termelési folyamatra és környezetre gyakorolt ökológiai, egészségügyi és okonómiai negatív hatását is.

Ennek köszönhető, hogy a felvetett problémákra való megoldásként egyre szélesebb körben terjed a környezetbarát olajok használata, valamint a minimálkenés és a szárazmegmunkálás alkalmazása [1, 2].

A minimálkenéssel elérhető, hogy a kenőanyag célirányosan és szabályozottan egészen kis mennyiségben jusson el a forgácsoló élékhez, a megmunkálási zónába.

## 2. A KÍSÉRLETEK CÉLJA

Kísérleteink célja külső minimálkenés mellett végzett fúrási kísérletek során összehasonlító mérések végrehajtása különböző mennyiségű külső hűtő-kenő folyadék hozzávezetéssel végzett fúrási kísérletsorozatokon, ahol mérjük:

- az axiális fúróerőt ( $F_f$ ) és csavaró nyomatékot ( $M_c$ ),
- a fúrószerszám kopását (sarokkopást,  $VB_E$  és hátkopást,  $VB_{3,5}$ ),
- az elkészített furatok felületi érdességét ( $R_a$ )
- a rezgéssebesség értékek változását a fúrási folyamat során.

A fúrószerszám kopása és feszültségállapota kapcsolatának szemléltetésére egyszerű modellszámításokat végeztünk.

Kísérleteink megtervezésénél felhasználtuk a Miskolci Egyetem Gépgyártás-technológia Tanszékének minimálkenéssel szerzett tapasztalatait [3, 4].

## 3. A KÍSÉRLETEK KÖRÜLMÉNYEI

A fúrási kísérletekhez használt csigafúró: Ø 10,2 K20 Gühring WRDG DIN 6537 (monolit keményfém, TiAlN-el bevonatolt, belső hűtő-kenő csatornás). A próbatest anyaga: szürkeöntvény, EN-GJL-200 (MSZ EN 1561), amelybe 30 mm hosszúságú furatokat készítettünk a sorozatkísérletek alkalmával.

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL” típusú porlasztó berendezéssel (a térfogatáram 10 cm<sup>3</sup>/h és 250 cm<sup>3</sup>/h között fokozatmentesen állítható). A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU” típusú, klórmentes olajat használtunk. A kísérletek végrehajtása MU-250 típusú marógépen az alábbi paraméterekkel történt:

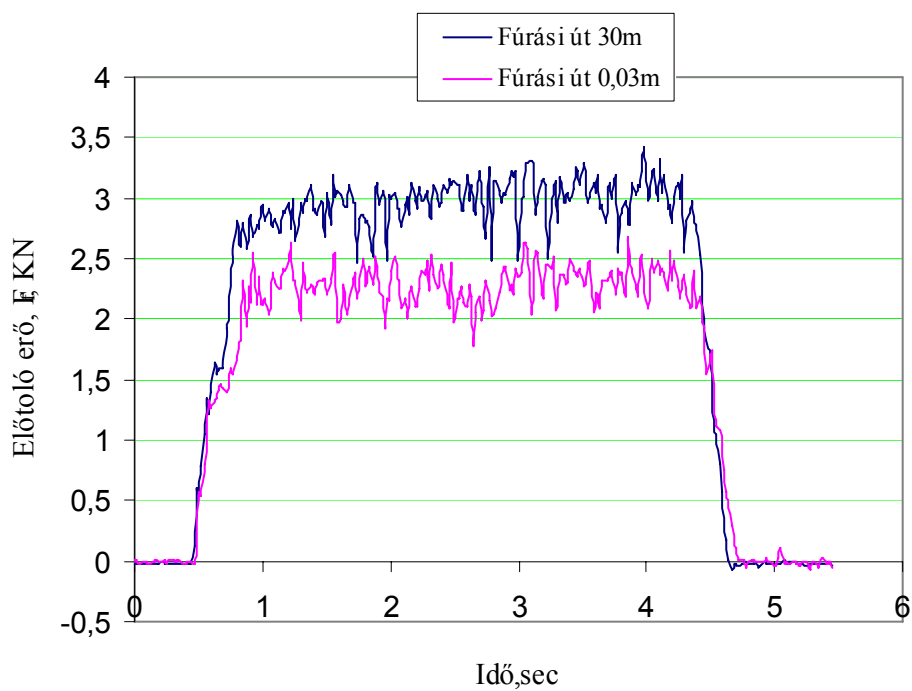
Maróorsó ford.: $n = 2250$ f/perc	Előtolás: $f = 0,18$ mm/ford
Forgácsolási seb.: $v_c = 72,06$ m/perc	HKF mennyiség: $Q = 10$ és $28$ cm <sup>3</sup> /h
Előtolás seb.: $v_f = 405$ mm/perc	Gépi főidő: $t = 0,074$ perc

Az axiális fúróerő ( $F_f$ ) és csavaró nyomaték ( $M_c$ ) mérése KISTLER 9271 A típusú kétkomponensű kompakt dinamométerrel történt. A sarokkopás ( $VB_E$ ) és hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) méréséhez a fúrot függőleges helyzetben mérőmikroszkópon lefényképeztük, majd a kopásértékeket a digitális foto számítógépes program segítségével történő feldolgozásával határoztuk meg. A furatok felületi érdességét ( $R_a$ ) Mitutoyo SJ-201 típusú készülékkel mértük. A rezgésmérés SKF MICROLOG CMVA 60-EN FFT rezgésanalizátorral történt.

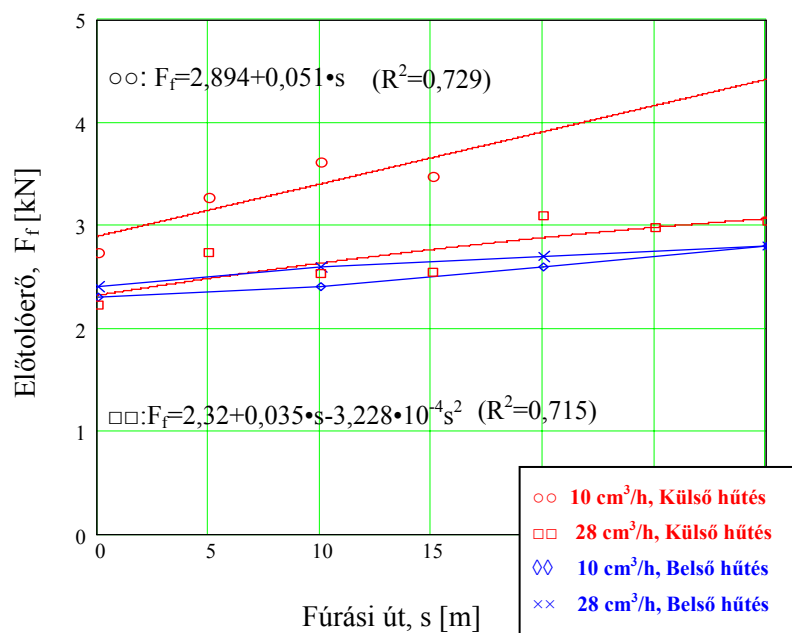
## 4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

### 4.1 Az előtolóerő ( $F_f$ ) és fúrási nyomaték ( $M_c$ ) mérés eredményei

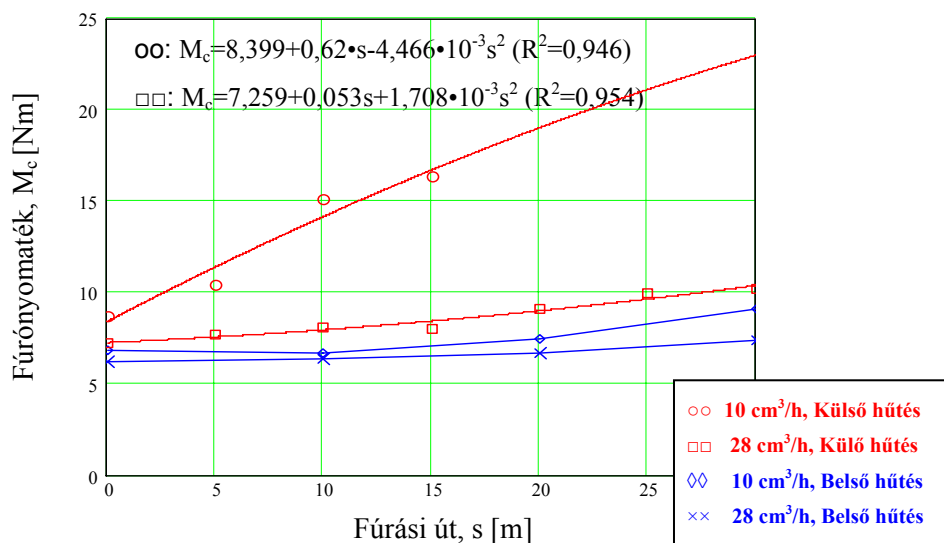
Az 1- 3. ábráról leolvasható, hogy  $F_f$  és  $M_c$  ingadozása jelentős a fúrási folyamata alatt, valamint külső hűtésnél  $F_f$  és  $M_c$  értékei jelentősen nőnek a fúrási úthossz növekedésével. A hűtő-kenő folyadék mennyiségének 10 cm<sup>3</sup>/h-ról 28 cm<sup>3</sup>/h-ra történő növelésével  $F_f$  értékei kb. 20-40 %-kal,  $M_c$  értékei kb. 20-100 %-kal csökkennek. A csökkenés mértéke a fúrási úttal nő.



1. ábra. Az előtolóerő ( $F_f$ ) változása a fúrás során (külső hűtés)  $Q = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$



2. ábra. Az előtolóerő ( $F_f$ ) változása a fúrási út függvényében



3.ábra. A fúrási nyomaték ( $M_c$ ) változása a fúrási út függvényében

A belső és a külső hűtésnek a fúrás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletére gyakorolt hatásának összehasonlítása alapján a következő megállapításokat tehetjük a vizsgált 30mm hosszúságú furatok elkészítése esetén (1- 3. ábra) [3,6]:

- A furatmegmunkálás előtolóerő és fúrónyomaték szükséglete mindig kisebb belső hűtésnél azonos mennyiségű HKF adagolás mellett.
- Amíg a furatmegmunkálás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletét tekintve 10 cm³/h mennyiségű HKF adagolásánál a belső és a külső hűtés közötti különbség igen nagy (50-100 %), addig 28 cm³/h mennyiségű HKF- nál ez a különbség már kevésbé jelentős (5-10 %).
- Belső hűtésnél 10 cm³/h mennyiségű HKF elegendő a fúró kenéséhez, külső hűtésnél a megfelelő hűtés- kenés eléréséhez a HKF mennyiségének legalább 28 cm³/h- ra történő növelése szükséges.

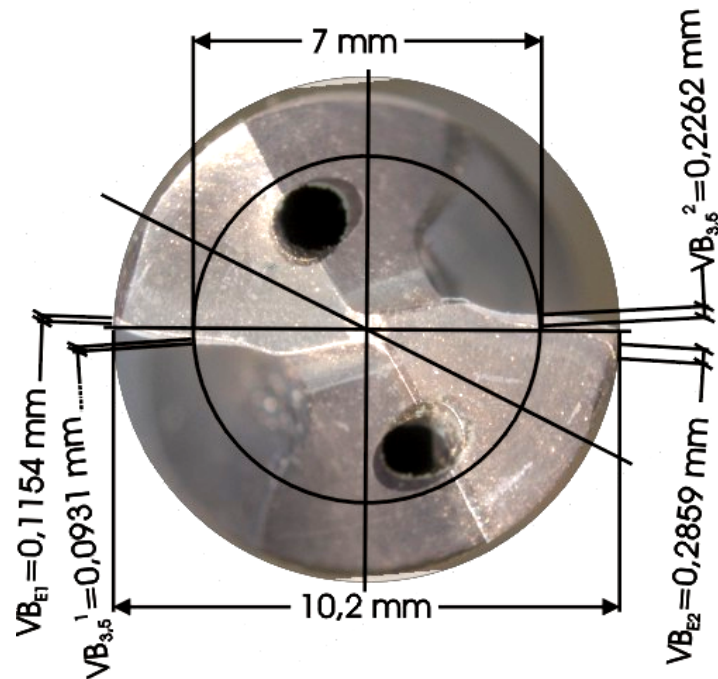
## 4.2 A szerszámkopás mérésének eredményei

A fúró elhasználódásának jellemzésére a sarokkopást ( $VB_E$ ) és a hátkopást ( $VB_{3,5}$ ) választottuk. A hátkopást 3,5 mm-es sugáron mértük, a főéltől a hátfelületre nyúló kopási sáv szélességeként. A szerszámkopást mindig 5 méter fúrási úthossz megtétele után mértük, mindkét főélen. A fúrási úthossz: átmenő furatok esetén a csigafúróval kifúrt furatok számának és a fúrási próbatest vastagságának szorzata ( $s = Z_f \cdot L_p$ ).

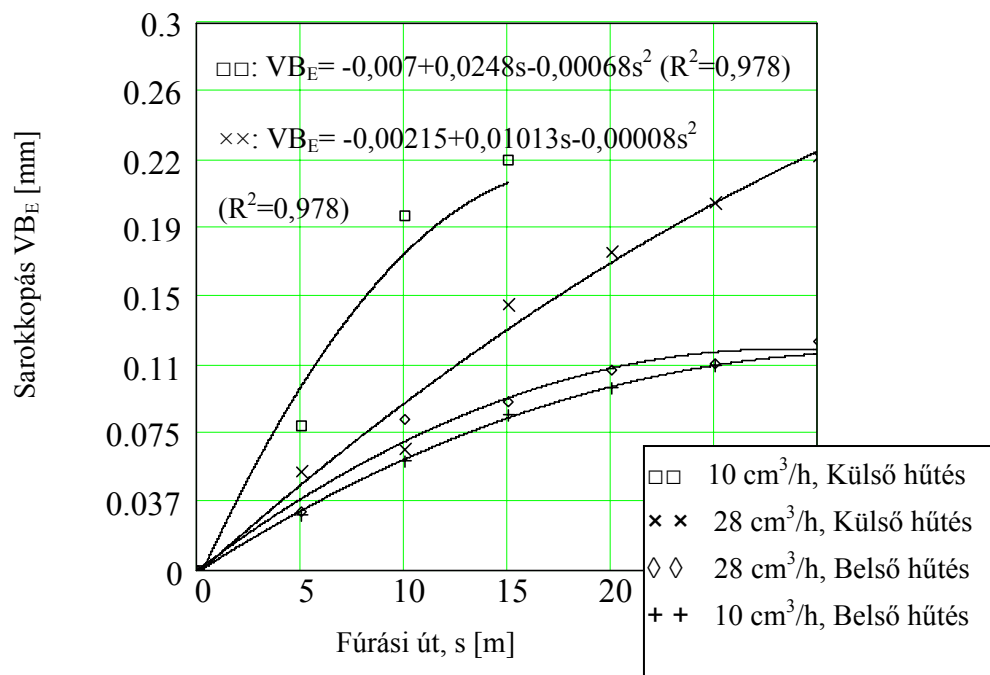
A fúróról jó minőségű nagyfelbontású digitális képet készítettünk. A kép előállításához Olympus SZ61 típusú sztereo mikroszkópot használtunk, amely nagyítás tartománya 0.67x – 4.5x, zoom aránya 6.7:1, munkatávolsága 110 mm. A fénykép előállításához a mikroszkóphoz csatlakoztatott Olympus C-7070 WZ típusú digitális fényképezőgépet használtunk, melynek képérzékelője 1/1,8 collos CCD szilárdtest szenzor 7.41 millió pixellel, tényleges felbontása 7,1 millió pixel (a képfeldolgozáshoz használt pixelek tényleges száma.). A fénykép tömörítetlen RAW formátumú, hogy elkerüljük tömörítésből származó információvesztést.

A képek feldolgozása CorelDraw9 programmal történt. A képeket egy referencia mérettel léptékeztük. A kopás értéke a különböző fúrási úthossz utáni képeken található élek referencia vonalhoz képesti távolságának a különbsége. Kontrollként a szoftver segítségével a képeket átlátszóvá téve és egymásra vetítve a kopás értékeket közvetlenül mérve is azonos eredmények adódtak.

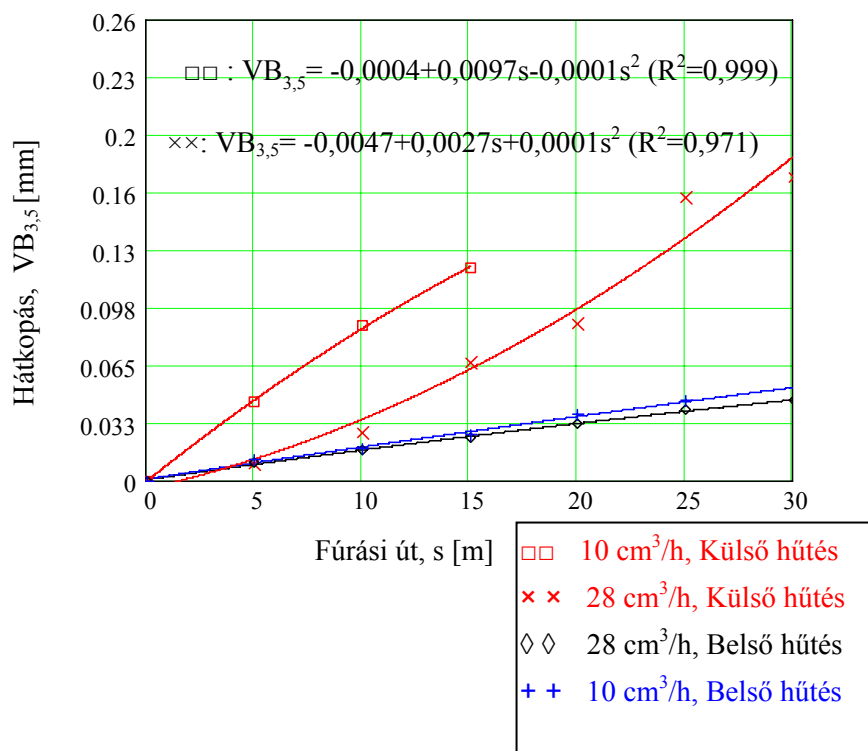
Külső hűtésnél a két főélen mért kopásértékek jelentős eltérést mutattak (4. ábra). A mérési eredmények elemzéséből kitűnik, hogy a szerszámkopás mérési eredményei összhangban vannak az előtolóerő és fűrényomaték mérési eredményeivel: a nagyobb szerszámkopás (10 cm<sup>3</sup>/h külső hűtésnél) jelentős előtolóerő és fűrényomaték növekedést eredményez [6].



4. ábra. Szerszámkopás mért értékei  $s = 25 \text{ m}$  fűrési út után ( $Q = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$ )



5. ábra. A sarokkopás ( $VB_E$ ) változása a fűrési út függvényében



6. ábra. A hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) változása a fúrási út függvényében

A belső és külső hűtés szerszámkopásra gyakorolt hatásának összehasonlítása alapján a következő megállapításokat tehetjük (5-6. ábra):

- Azonos mértékű HKF adagolás mellett a sarokkopás ( $VB_E$ ) és a hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) minden esetben kisebb belső hűtésnél.
- Belső hűtésnél a HKF mennyiség növelése nem csökkentette jelentősen a szerszámkopást, azonban külső hűtésnél a HKF mennyiség növelése jelentősen redukálta a szerszám elhasználódását.
- Amíg belső hűtésnél 10 cm³/h mennyiségű HKF elegendő a fúró kenéséhez, addig külső hűtésnél a megfelelő hűtés-kenés biztosításához a HKF mennyiség legalább 28 cm³/h-ra történő növelése szükséges.

Ezen megállapítások változnak  $L = 50$  mm vagy 100 mm vastagságú munkadarabok fúrásánál, mivel  $L \geq 5d$  fúrt furathossz után a külső kenés hatása jelentősen lecsökken.

### 4.3 A felületi érdesség mérés eredményei

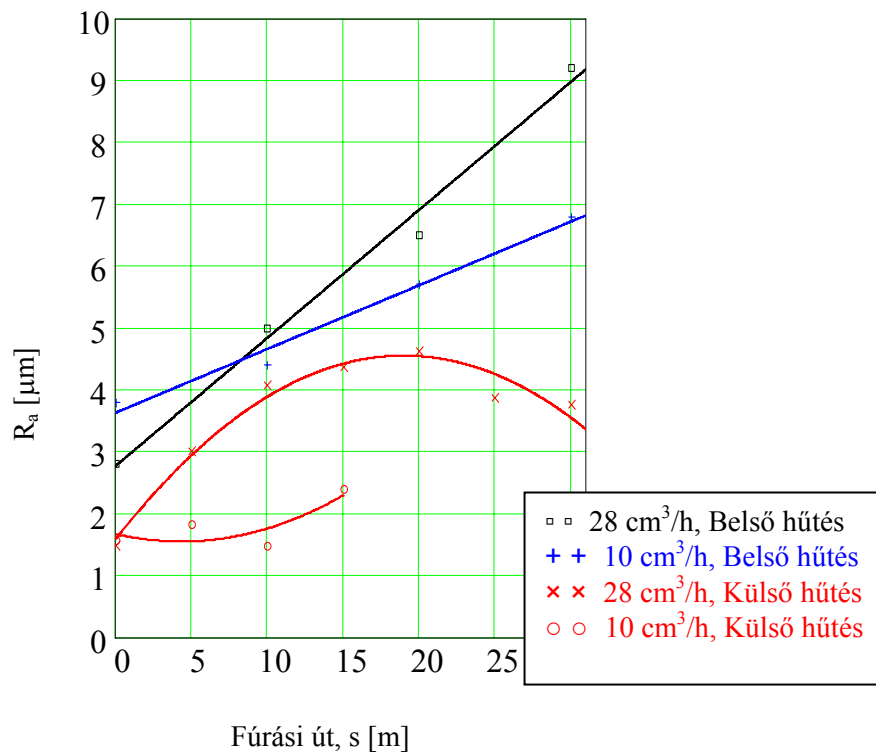
A belső és külső hűtés (minimálkenés) felületi érdességre gyakorolt hatásának összehasonlításából (7. ábra) kiderül, hogy ugyanolyan mennyiségű hűtő-kenő anyag mennyiség (10-28 cm³/h tartományban) mellett külső hűtéssel jobb felületi érdesség érhető el, valamint mind belső, mind külső hűtésnél ugyanolyan tendencia figyelhető meg: a hűtő-kenő folyadék 10 cm³/h-ról 28 cm³/h-ra történő növelésével a forgácsolt furat felületi érdessége romlik. A jelenség okának tisztázása további, részletesebb vizsgálatot igényel.



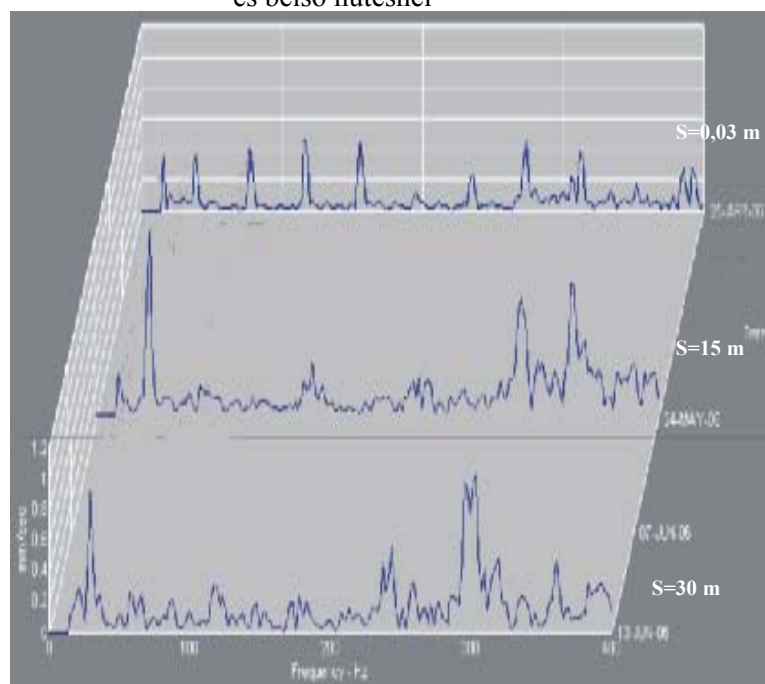
#### 4.4 A rezgéssebesség mérés eredményei

A horizontális és vertikális irányban mért összegezett rezgéssebesség értékek a forgácsolási út függvényében jelentősen nőnek, a szerszámkopással együtt feltehetően ez idézi elő a felületi érdesség értékek forgácsolási úttal történő növekedését (8. ábra).

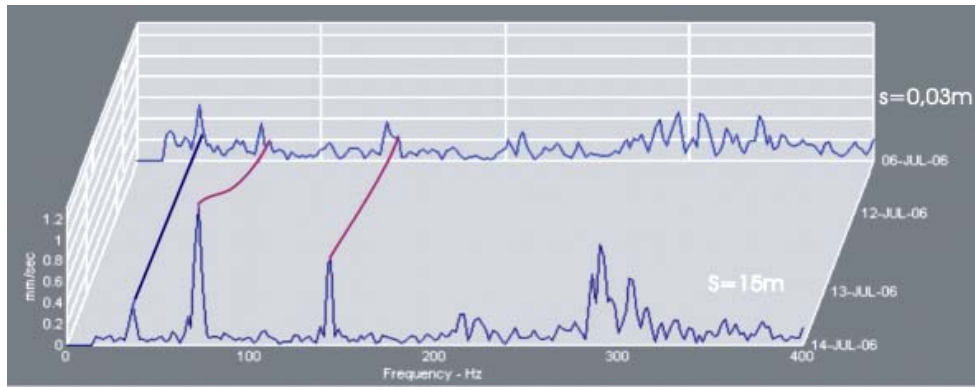
10 cm<sup>3</sup>/h hűtésnél kisebb összegezett rezgéssebességet mértünk, ez magyarázatot adhat külső hűtésnél a jobb felületi érdesség regisztrálására (9. ábra).



7. ábra. Felületi érdesség változása a fúrási út függvényében külső és belső hűtésnél



8. ábra. A horizontális irányban mért összegezett rezgéssebesség értékek változása a fúrási út függvényében (Q = 28 cm<sup>3</sup>/h)



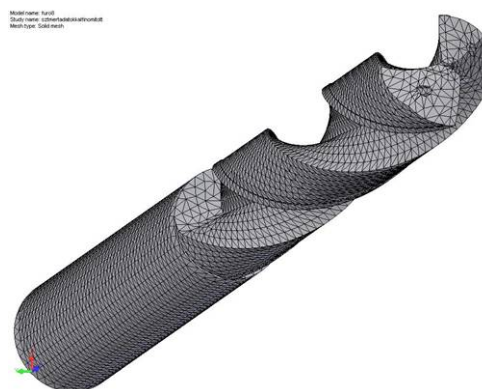
9. ábra. A horizontális irányban mért összegezett rezgéssebesség értékek változása a fúrási út függvényében(  $Q = 10 \text{ cm}^3/\text{h}$ )

## 5. MODELLSZÁMÍTÁSOK VÉGESELEM MÓDSZERREL

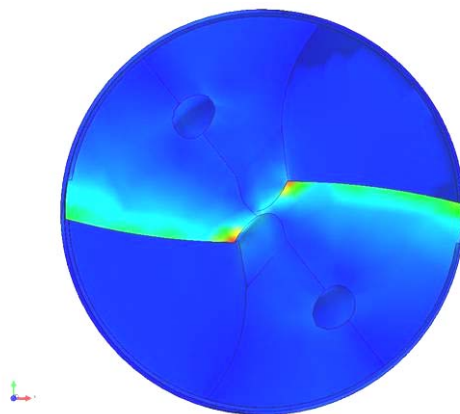
A fúrási folyamat modellezése napjainkban élénken kutatott tudományterület. Mi azt tűztük ki célul, hogy kísérleteink kapcsán előtanulmányt végzünk a szerszám modellezésére munkavégzés közben  $28 \text{ cm}^3/\text{h}$  mennyiségű hűtő-kenő anyag esetén. A fúroszerszám feszültségállapotának modellezésekor alapvető feladat a lényeges körülmények és az elhanyagolható tényezők megkülönböztetése. Modellt építettünk fel a fúroszerszám igénybevételének kiszámítására, majd ennek kvalitatív ellenőrzésére felhasználtuk a kísérletekben kapott kopási képeket.

A fúró háromdimenziós reprezentációját elkészítettük. A mért előtoló erőt közvetlenül felhasználtuk a számításainkban (2. ábra). Az egyes éleken megoszló főforgácsoló erőt az egy élre jutó előtoló erővel megegyezőnek vettük fel [5]. Az él mögötti súrlódási erőt pedig az előtoló erő és a súrlódási együttható felhasználásával becsültük. Az anyagi tulajdonságokat a K20 keménységű fém adataival megegyezőnek vettük fel. A modellben a fúroszerszám anyaga homogén, izotróp és ideálisan rugalmas. A modell végeselem felosztását standard eljárással készítettük el (10. ábra).

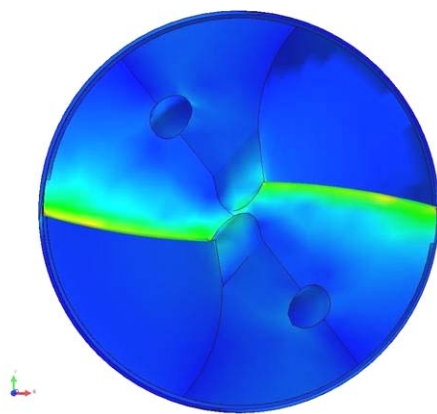
Számításainkat munkaéles és részben kopott állapotban is elvégeztük. A kopott állapotot az él 0.1 mm sugarú lekerekítésével modelleztük.



10. ábra. A fúroszerszám standard végeselem felosztása



11. ábra. Munkaéles állapot



12. ábra. Kopott állapot

A 11. és a 12. ábrán a számított Mises szerinti feszültségek láthatók munkaéles és kopott állapotban. Mindkét esetben találhatók olyan tartományok, ahol a feszültség meghaladja a fúró anyagának szakítószilárdságát (1700 MPa). Az első esetben az élek végeinél olyan tartományok figyelhetők meg, amelyekben a feszültség lényegesen nagyobb a szakítószilárdságnál (a maximum 3774 MPa). Ez összhangban van azzal a tapasztalattal, hogy a sarkok és a keresztél kopása a legnagyobb mértékű (4-6 ábra). Kopott állapotban a feszültség eloszlása jellegzetesen megváltozik. A kiugróan nagy feszültségek a sarok és környékének kisebb tartományára korlátozódnak, jelezve, hogy a sarok számottevő kopása folytatódik. A feszültség az él mentén végig megközelíti a szakítószilárdságot, ami arra utal, hogy az él egyenletesen kopik tovább.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleteink legfontosabb következtetéseit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- Külső minimálkenéssel sikerült megfelelő forgácsolási feltételeket biztosítani szürkeöntvény furatmegmunkálásánál.
- A fúrókopás mérésére használt digitális képfeldolgozó eljárás alkalmas a kopás értékek megfelelő pontosságú mérésére.
- Azonos mértékű HKF adagolás mellett a sarokkopás ( $VB_E$ ) és a hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) minden esetben kisebb belső hűtésnél (a fúró hűtése itt egyenletes, folyamatos).
- Amíg a belső hűtésnél a HKF mennyiség növelése nem csökkentette jelentősen a szerszámkopást (sőt,  $28 \text{ cm}^3/\text{h}$  hűtésnél  $10 \text{ cm}^3/\text{h}$  hűtéshez képest a sarokkopás nőtt), addig külső hűtésnél a HKF mennyiség növelése jelentősen redukálta a szerszámkopást.
- Amíg belső hűtésnél  $10 \text{ cm}^3/\text{h}$  mennyiségű HKF elegendő a fúró hűtés-kenéséhez, addig külső hűtésnél a HKF mennyiségének legalább  $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ra történő növelése szükséges a megfelelő hűtés-kenés biztosításához.
- Az összegezett rezgésebbesség értékek a fúrási út függvényében nőnek.
- A modellszámításokkal kapott feszültségállapot jó kvalitatív összhangban áll a mért kopás értékekkel.

Ezen megállapítások változnak  $L = 50 \text{ mm}$  vagy  $100 \text{ mm}$  vastagságú munkadarabok fúrásánál, mivel  $L \geq 5d$  fúrt furathossz után a külső kenés hatása jelentősen lecsökken.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] WEINERT, K.: Trockenbearbeitung und Minimalschmierung. Springer Verlag 2000.
- [2] KLOCKE, F.; LUNG, D. (2000). Minimalmengen-kühlschmierung – Systeme, Werkzeuge und Medien, In VDI-Berichte 1532, pp.: 137–154, VDI-Verlag Düsseldorf,
- [3] DUDÁS, I., VARGA GY., CSERMELY, T., TOLVAJ, I. Umweltgerechte Zerspanungstechnik - Reduzierung und Ersatz von Fertigungshilfsstoffen beim Bohren (STD - 2EC jelű, ERB CIPACT 930167 témaszámú), Európai Közösség által finanszírozott kutatási projekt, Miskolci Egyetem, Gépábrázolótechnológiai Tanszék, 4. Jelentés, 1995., pp.: 27.
- [4] VARGA, GY., DUDÁS, I.: Modelling and Examinations of Environmentally Friendly Machining Processes, Proceedings of the 9th International Research/Expert Conference on Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26-30 September, 2005. pp.: 121-124. ISBN: 9958-617-28-5.
- [5] DUDÁS I. (2004). Gépábrázolótechnológia I., A gépábrázolótechnológia alapjai, Műszaki Kiadó, pp.583. ISBN 963 16 4030 2
- [6] SZIGETI, F.; VARGA, GY.; PÉTER, L.; SZÁZVAI, A. Examination of outer and inner lubrication with minimum volume of lubricants when drilling of grey cast iron, Proceedings of the 7th international multidisciplinary conference, Baia Mare, Romania, May 17, 2007, pp.: 687-693, ISSN-1224 -3264.

## HARCI HELIKOPTER FEDÉLZETI FEGYVEREI

### BEVEZETÉS

A doktori dolgozatomban foglalkozok harci helikopterek fegyverzetének összehasonlító elemzésével. Jelen cikkem is ehhez kapcsolódik, ahol kimondottan a helikopterek fedélzetén alkalmazható fegyvereket mutatom be.

Mielőtt elkezdem a harci helikopterek fegyverzetét tárgyalni, néhány fogalmi kérdést szeretnék tisztázni. Általánosan elfogadott, hogy a katonai alkalmazású, fedélzeti fegyverekkel felszerelt helikoptereket harci helikoptereknek nevezzük, legyen az egy eredetileg szállító helikopternek gyártott eszköz. Dolgozatomban nem ezekről fogok elsősorban beszélni – bár ezek az eszközök, vagy egy részük megtalálható ezeken a felfegyverzett szállító helikoptereken is – hanem azokról a forgószárnyas harceszközökről, melyek kimondottan fegyveres küzdelem megvívására készültek. Ilyen értelemben az angol elnevezése ezeknek a helikoptereknek pontosabban fedi a rendeltetésüket. Az angolban AH – „attack helikopter” támadó (roham) helikopter elnevezés honosodott meg az ilyen céllal létrehozott eszközök jelölésére.

### FEDÉLZETI HUZAGOLT FEGYVER

A fedélzeti huzagolt fegyver fogalma alatt a géppuskákat és a gépágyúkat értjük és általában az idegen nyelvű szakirodalomban használják ezt az összefoglaló nevet. A repülőfedélzeti fegyverek esetében 20 mm-es űrméretig beszélünk géppuskáról, 20 mm fölött pedig gépágyúról. A 20 mm-es lőfegyvert az esetek többségében gépágyú kategóriába szokás sorolni.

A harci helikopterek többségénél van beépített gépágyú, vagy géppuska. Jelentős különbség a toronyba beépített fegyverek között nincsen. A különbséget inkább a torony irányításában kell keresni. A régebbi típusokon a lőtornyot az operátor vagy fegyverkezelő irányította, valamilyen követő hajtás segítségével. A mai korszerű harci helikoptereknél ezt már nem csak az operátor teheti meg, hanem a helikoptervezető is, mégpedig mindketten sisakcélzó segítségével.

### NEM IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTA FEGYVERZET

A harci helikopterek fedélzetén számos nem irányítható rakétatípus megtalálható. Ezen rakéták különböző feladatok végrehajtására alkalmazhatók, mint például nem vagy gyengén páncélozott eszközök, csapatösszevonások támadása. Alkalmazásuk során rendszerint néhány darabból álló sorozatokat alkalmaznak, mert a rakéta viszonylag nagy szórásképpel rendelkezik és ilyen sorozatok esetén biztosított a cél megfelelő mértékű megsemmisítése. Részletesen nem vizsgálom ezeket az eszközöket, mert működésüket, alkalmazási területeket tekintve egyik gyártó rakétája sem tér el jelentősen a másiktól.

### IRÁNYÍTHATÓ RAKÉTA FEGYVERZET

*Az irányítható rakétákról általában*

Az irányítható rakéták első megjelenése a II. világháború idejére tehető, melyben a náci Németország végzett kísérleteket 1944-45-ben. Inerciális irányító rendszerrel felszerelt V-1 repülőgép-lövedék, majd a V-2 ballisztikus rakéták ezreit zúdították Londonra és más európai városokra. Sikeres kísérleteket hajtottak végre irányítható páncéltörő rakétákkal is, melyek vezetékes vagy rádió parancs irányítással rendelkeztek, illetve légvédelmi rakétákkal is folytattak kísérleteket, szintén rádió parancs irányítással. A háború befejezése miatt ezek tömeges alkalmazására nem került sor. [2]

Ahhoz hogy pontos áttekintést kapjunk a harci helikopterek irányítható rakétáiról először vizsgáljuk meg milyen rakétákat alkalmaznak a repülő eszközök fedélzetén. Vizsgálatomat alapvetően az irányítási módok alapján építettem fel, mert itt jelentkezik a legnagyobb különbség pl. egy vadászrepülőgép és egy harci helikopter között. A világháború után nagy erővel kezdték fejleszteni az irányítható rakétákat. A technikai forradalom, elsősorban az elektronika, rádiólokáció, infravörös és félvezető technika, valamint a gyártástechnológia fejlődése lehetővé tették, hogy az 50-es évek végére olyan rakétatechnika álljon rendelkezésre, mely a légiharc megvívásának alapvető eszköze lett. [2]

A korai rakétákra az volt a jellemző, hogy nem vagy gyengén manőverező légi célok megsemmisítésére tervezték. Alkalmazási magasságuk maximálisan 15-18 km volt, míg indítási távolságuk 5-12 km. Kis túlterhelések elviselésére voltak képesek, indításuk, kizárólag hátsó légtérből történhetett, kis rákurzus<sup>1</sup> esetén. Az 50-es, 60-as évek helyi háborúi tapasztalatai bizonyították, hogy az ilyen paraméterekkel rendelkező rakéták alkalmazási lehetősége igen kicsik és a célmegsemmisítés valószínűsége nagyon alacsony. Már a 70-es, 80-as években rendszerbeállított rakéták paraméterei is többszörösen felülmúlták a korai fejlesztésű eszközökét, nem is beszélve arról, hogy a 80-as években már az első IV. generációs légiharc rakéta hadrendbeállítása is megtörtént. Napjainkban III. és IV. generációs rakéták szolgálnak a legtöbb légierőben, de a tervezőasztalokon és kísérleti laboratóriumban már az V. generációs rakéták is elképzelhetőek. [2]

Az irányítható rakéták fejlődésével a nem irányítható rakéták sem veszítették harcászati jelentőségüket, ugyanis a kisméretű földi célok, tankok, páncélozott szállító járművek megsemmisítésére sokkal hatékonyabb és gazdaságosabb eszköz, mint a légibomba vagy az irányítható rakéta. Az indító berendezések korszerűsödésével nagyobb mennyiség is függeszthető belőle a repülő eszközre, mellyel a harci helikopterek jelentőségét sikerült erősíteni a 60-as 70-es években. Ugyan ebben az időben a légiharc rakéták módosításával elkészültek az első „levegő-föld” rakéták is, melyek az irányítási rendszer pontatlansága miatt nagy tömegű harci résszel rendelkeztek és indítási távolságuk is kicsi volt. A fejlesztések során az irányító rendszerek korszerűsödésével egyre nagyobb távolságról lehetett ezeket az eszközöket alkalmazni. Ebben az időben jelentek meg az első irányítható páncéltörő rakéták, melyekkel a páncélozott eszközöket 4-5 km-ről is meg lehetett semmisíteni. Az utóbbi a harci helikopterek gyors fejlődésével együtt ugrásszerűen korszerűsödött és világszerte elterjedt. [2]

#### *Az irányítható rakéták csoportosítása*

A fedélzeti rakétákat a hordozó eszköz és a cél elhelyezkedése alapján a következő két nagy csoportba lehet besorolni:

---

<sup>1</sup> „A cél rákurzusának nevezzük a cél haladási iránya és az irányzóvonal által bezárt szöveget, amelyet a cél irány-szögének is szokás nevezni.” **Hiba! A hivatkozási forrás nem található.**

- levegő-felszín vagy levegő-föld;
- levegő-levegő vagy légi harc<sup>2</sup>.

Ez a csoportosítás azonban csak a rakéta rendeltetésére utal, részletesebb adatok megismerését nem teszi lehetővé.

Az irányító rendszer típusa szerint megkülönböztetünk:

- távvezérlésű;
- önirányítású;
- programvezérlésű;
- kombinált

irányítási rendszereket.

A távvezérlő rendszerekben az irányító jel a rakétán kívül (pl.: a rávezető állomáson, ami a helikopter vagy repülőgép fedélzetén) jön létre. Ezt parancsjel formájában érzékeli a rakéta fedélzetén található irányító rendszer és működésbe jönnek a kormányok, ami a röppálya módosulását eredményezi. A parancsjel továbbítása történhet közvetlenül vezetékkel vagy rádióhullámok segítségével.

Az önirányító rendszerekben a rakéta valamint a cél kölcsönös helyzetét az irányító rendszer részét képező, a rakéta fedélzetén található célkoordinátor végzi. A célkoordinátor jele megfelelő feldolgozás (zavar- és zajszűrés, erősítés stb.) után a rakéta irányító berendezésén keresztül kormány elmozdulás jeleket hoz létre és ezzel korrigálja a rakéta röppályáját.

A programvezérlésű irányítási rendszerekben a rakéta repülése előre meghatározott paraméterek szerint történik. A rakéta fedélzetén elhelyezett berendezés nincs kapcsolatban sem a céllal, sem az indító repülőgéppel. A rakéta repülési paramétereit az indítás előtt kapja meg a hordozó repülőgép fedélzeti számítógépétől. A repülés folyamán a fedélzeti irányító berendezés összehasonlítja a beprogramozott értékeket és a valós repülési paramétereket, majd az összehasonlítás eredményeként kidolgozza az irányító jelet és kiadja az irányító parancsokat a vezérlő szervek felé. A programvezérlés előnye a nagyfokú zavarvédetség, hátránya viszont az, hogy nincs lehetőség a program, repülés közbeni módosítására.

Kombinált irányítási rendszer alkalmazása egyre gyakoribb a közepes és nagy hatótávolságú légi harc rakétákban. Az ilyen rakéták célkörzetbe jutatása programirányítással történik, majd a rakéta célkoordinátorának befogása után áttér önirányításra.

A cél kiválasztásának módszere szerint három önirányítási módszert különböztetünk meg:

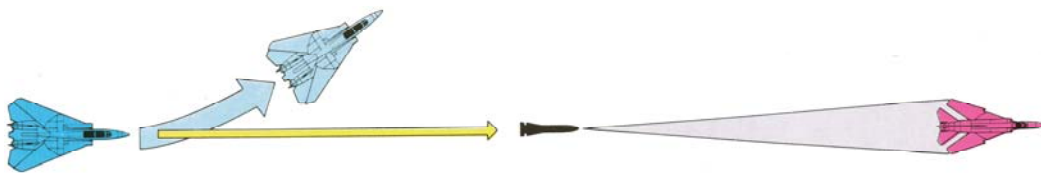
- aktív;
- félaktív;
- passzív.

Az aktív és félaktív önirányítási rendszerek lényege, hogy a célt mesterségesen kiemeljük a környezet háttéréből – megvilágítjuk – elektromágneses hullámok segítségével. A célról visszaverődött jeleket a rakéta célkoordinátora érzékeli és a jelfeldolgozás után kinyeri belőle a

---

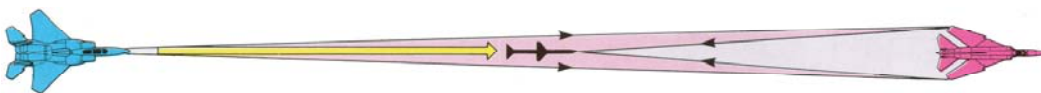
<sup>2</sup> Tanárként a légi harc rakéta elnevezés használatát erősítem, mert egy jól megalkotott és szakmailag mindent magában foglaló szakszó és jobban cseng, jobban használható, mint a „levegő-levegő osztályú” (A szerző megjegyzése).

szükséges információt a cél helyzetéről és mozgásáról. Ezen hasznos információk segítségével kerül kidolgozásra az önirányító rendszerben az irányító jel, ami a kormánygépekre kerül és megtörténik a rakéta röppályájának módosítása.



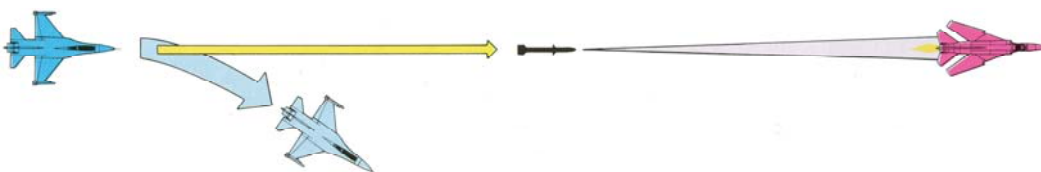
**1. ábra Aktív önirányítás**

Azokat a rendszereket ahol a sugárzó berendezés is a rakéta fedélzetén található aktív önirányítási rendszereknek (1. ábra), ahol csak a vevő berendezés van a rakéta fedélzetén félaktív önirányításnak nevezzük (2. ábra). A félaktív rendszerek legnagyobb hátránya, hogy a rakéta célba találásáig úgynevezett meg kell világítani a célt, vagyis folyamatosan biztosítani kell a cél mesterséges kiválasztását a környezetből. Ezt leggyakrabban a hordozó repülőgép végzi a rádiólokátora segítségével és ilyenkor megnövekszik a felderítésének a veszélye, mert folyamatos rádió kisugárzás történik. Nagyon gyakran – közepes és nagy hatótávolságú légiharc rakéták esetében – az aktív és a félaktív önirányítási rendszereket kombinált irányítással alkalmazzák.



**2. ábra Félaktív önirányítás**

Passzív önirányítási módszer (3. ábra) esetében a célok saját kisugárzását (hő, fény, elektromágneses) használjuk fel a rakéta fedélzetén található célkoordinátor hasznos jeleként. A legelterjedtebb változat a passzív infravörös önirányítás, ahol a repülőgép hajtómű kiáramló gázainak, a sárkányszerkezet felmelegedett elemeinek hősugárzását érzékeli a célkoordinátor. Ezeknek a rendszereknek több előnyös tulajdonsága is van, ilyen pl.: a viszonylag egyszerű, olcsó felépítés, a nagy pontosság, valamint az a tény, hogy rakéta indítás után a hordozó repülőgép azonnal kiválhat a manőverből, vagyis érvényesül a „tüzelj és felejtse el”<sup>3</sup> elv. Alkalmazásuknak csak a rossz időjárási viszonyok szabnak határt.



**3. ábra Passzív önirányítás**

A „Tüzelj és felejtse el!” elv, ami fentebb én is alkalmaztam, azt jelenti, hogy a rakéta indítása után a hordozó repülőgép azonnal kiválhat a támadási manőverből és megkezdheti egy másik, új cél támadását, vagy visszatérhet a bázisra. Ilyen eszközök a passzív infravörös önirányítással rendelkező és az aktív rádió önirányítású rakéták.

### *Irányítható páncéltörő rakéták irányítási módszerei*

<sup>3</sup> „Tüzelj és felejtse el!” az angol szakirodalomban alkalmazott „Fire-And-Forget” kifejezésből származik.



A fent felsorolt irányítási eljárások nemcsak a légi harc rakétákra igazak, hanem a levegő-felszín (levegő-föld) osztályúakra is, így a helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakétákra is. Az utóbbiak esetében gyakran kerül alkalmazásra a táv- vagy parancsirányítás.

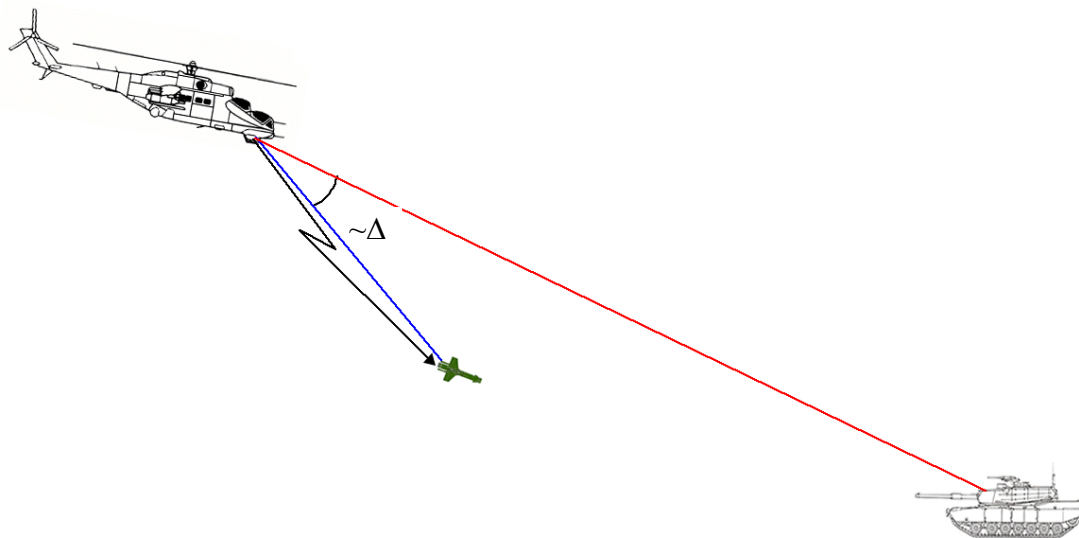
#### ***Távírányítás vagy parancs irányítás***

A helikopterfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében gyakran alkalmazott irányítási módszer. Széleskörű elterjedésének az egyik oka a gazdaságosság, mivel az irányító rendszer legbonyolultabb része – a rakéta repülési paramétereit meghatározó egység, a számítógép – a helikopter fedélzetén található, így az többször is felhasználható.

A rakéta indítását megelőzően az operátor vizuálisan kiválasztja a célt, majd egy optikai rendszer segítségével, végrehajtja a célzást. Ezzel a rendszer szemszögéből nézve kialakul az irányzóvonal. A rakéta irányítása az irányzóvonalhoz viszonyítva automatikusan valósul meg a következő módon:

- ➔ a rakéta folyamatos szögkoordinátáit a pelengátor optikai tengelyéhez viszonyítva irány és bólintás szerint meghatározza a rávezető műszer;
- ➔ a fenti jelekből a fedélzeti számítógép kialakítja a vezérlő jelnek megfelelő parancsokat;
- ➔ a fedélzeti számítógép által kidolgozott parancsokat rádióparancs vonalon vagy vezetékes vonalon továbbítja a rakétának;
- ➔ a rakéta fedélzeti blokkjai a megfelelő manőver végrehajtása érdekében végrehajtják a kormány kitéréseket.

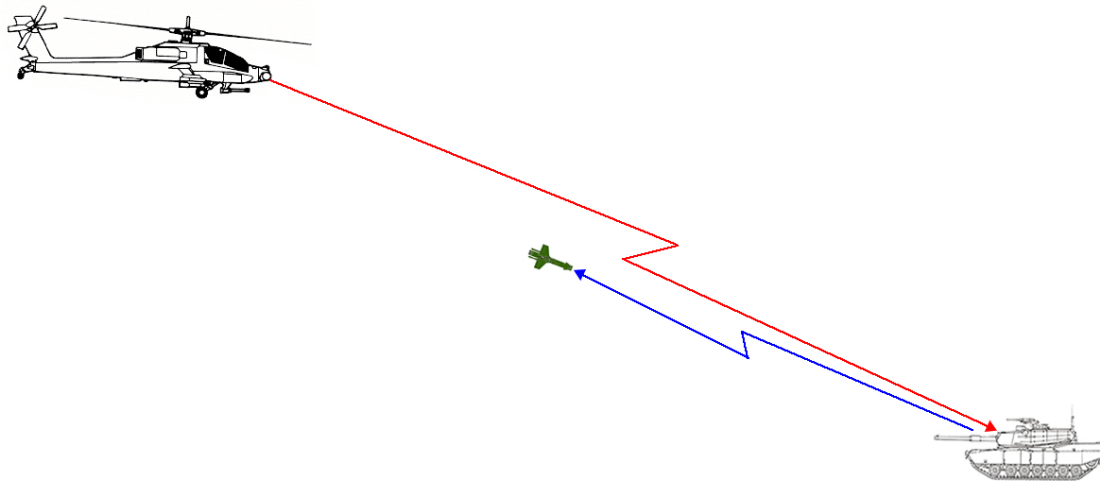
A pelengátor követi a rakéta infravörös válaszadójának a kisugárzását (villanófény; nyomjelző vagy lámpa) miközben meghatározza a rakéta irányzóvonalhoz viszonyított szöghelyzetét. A rakétának a pelengátor optikai tengelyéhez viszonyított irány és bólintás szerinti szöghelyzetével arányos jelek a fedélzeti számítógépre jutnak, ahol megtörténik az összehasonlítás az irányzóvonal paramétereivel. Az összehasonlítás eredményeképpen kialakul az eltéréssel arányos irányítójel ( $\Delta$ ) (4. ábra).



**4. ábra Távírányítás vagy parancs irányítás**

### ***Félaktív önirányítás***

A helikopterfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében ez az irányítási módszer nem túl gyakori, a vizsgált 9 rakéta közül csak 3 típus (az amerikai AGM 114 Hellfire II, az orosz AT-16/9M120M Vihr és a dél-afrikai Mokopa SAL ) rendelkezik félaktív önirányítással. Mindhárom irányítható páncéltörő rakéta közös jellemzője, hogy a kilencvenes években fejlesztették ki valamennyit.

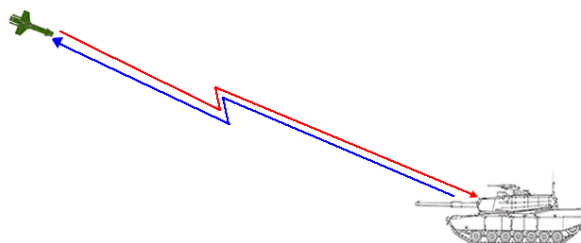


**5. ábra Félaktív önirányítás**

A szárazföldi célok ellen alkalmazott félaktív irányítható rakéták esetében gyakran találkozhatunk félaktív lézer irányítással és ez nem csak a helikopter fedélzeti irányítható rakétákra igaz. Ennek az önirányítási módszernek a lényege ugyanaz, mint a légiharc rakéták esetében, valamilyen mesterséges jel segítségével (lézer vagy rádió jel) mesterségesen ki kell emelni a célt a háttérből (5. ábra). A célról visszaverődött jelre fog reagálni a rakéta célkoordinátora és valósítja meg az önirányítást. A harci helikopterek fedélzetén széles körben még nem terjedt el a fedélzeti rádió lokátor, így a félaktív irányítható páncéltörő rakéták jelentős része félaktív lézer önirányítású. Az első félaktív rádió önirányítású rakéta az AH-64 „Longbow” rendszerrel együtt került kifejlesztésre, majd más gyártók is megjelentek hasonló eszközökkel.

### ***Aktív önirányítás***

A helikopterfedélzeti irányítható páncéltörő rakéták esetében ez az irányítási módszer a legritkább (6. ábra). Csupán egyetlen rakéta típus rendelkezik ilyen változattal. Az AH-64 harci helikopter modernizációja során fejlesztették ki a az AGM-114 rakéta „Longbow Hellfire” változatát, mely kombinál irányítási rendszerrel rendelkezik, melybe inerciális és aktív rádió önirányítás tartozik.



6. ábra Aktív önirányítás

### *Irányítható páncéltörő rakéták*

A következőkben a legismertebb helikopter fedélzeti irányítható páncéltörő rakéták adatait gyűjtöttem össze.

#### *„Hellfire” AGM-114*

- *AGM-114A „Basic Hellfire”* volt az első változat, amely félaktív lézer irányítással, 425 m/s-os repülési sebességgel, 500-8000 m-es indítási távolsággal, kumulatív harci részzel rendelkezett. A hossza 1630 mm, tömege 45 kg.
- *B/C „Basic Hellfire”* változat egy kevésbé füstölő hajtóművet kapott és a B változat hajó fedélzetéről is indítható. Ára 25000 USD.
- *D/E „Basic Hellfire”* változat digitális robotpilótát kapott, de a gyártására nem került sor.
- *F „Interim Hellfire”* tandem kumulatív harci részzel szerelt változata. A hossza 1800 mm, tömege 48,5 kg, indítási távolsága 500-7000 m.
- *G „Interim Hellfire”* változat hajó fedélzetén is biztonságosan alkalmazható. Nem került gyártásra.
- *H „Interim Hellfire”* változat digitális robotpilótát kapott, de a gyártására nem került sor.
- *J „Hellfire II”* az F változat rövidebb, de nagyobb indítási távolságú változata. Nem került gyártásra.
- *K „Hellfire II”* a méltó utód. 500-9000 m-es indítási távolsággal, félaktív lézer irányítással, tandem kumulatív harci részzel, digitális robotpilótával, electro-optikai zavarvédelemmel, valamint a céljel elvesztése esetén újra kereső célkoordinátorral. Hossza 1630 mm, tömeg 45 kg, ár 65000 USD.
- *L „Longbow Hellfire”* Kombinált irányítási rendszerrel, melybe inerciális irányítás és rádió önirányítás tartozik. A leglényegesebb tulajdonsága, hogy a „Tüzelj és felejtse el!” kategóriába tartozik, ami kiemeli a többi páncéltörő rakéta közül. Hossza 1760 mm, tömege 49 kg.
- *M „Hellfire II”* repesz-romboló-gyújtó harci részzel szerelt változat.

- ➔ *N „Hellfire II”* épületek, harcálláspontok, bunkerek és élőerő ellen alkalmazható változat.
- ➔ *P Hellfire II* alacsonyan repülő, pilótanélküli repülőeszközökre optimalizált változat. [4][6]

#### ***„Trigat”-LR/PARS 3 Long Range***

Francia és német fejlesztésű irányítható páncéltörő rakéta. 500-tól 8000 m-es indítási tartománnyal, tandem kumulatív harci résszel rendelkezik [4][6]

#### ***„HOT”<sup>4</sup>***

Franciaország és Németország közös fejlesztésű, harcjárművekről és helikopter fedélzetéről is indítható páncéltörő rakétája. Az első változata 1978-ban jelent meg, akkor még csak „HOT” néven, ma ezt a rakétát jelöljük „HOT1”-ként. A „HOT2”-t 1986-ban állították hadrendbe, a „HOT3”-at pedig a Eurocopter „Tiger” harci helikopterhez fejlesztették és ez már a harcjárművek dinamikus páncélzatát is képes átütni, mivel tandem kumulatív harci résszel rendelkezik. [4][6][8]

#### ***BGM-71 „TOW”<sup>5</sup>***

Több variációban gyártott, csőből induló, optikai irányzású, vezetékes távirányítású páncéltörő rakéta. Alkalmazást nyert szárazföldi eszközként is, állványról vagy harcjárműről indítható változatban, de alkalmazzák helikopter fedélzetén is. A különböző modifikációkat az abc betűivel A-tól H-ig jelölik. A BGM71E változata, amelyik tandem kumulatív harci résszel rendelkezik. [4][6][8]

#### ***AT-2 „Swatter-C”/9M17MP „Falanga”***

Az AT-1 járműfedélzeti irányítható páncéltörő rakétával egy időben fejlesztették ki és alkalmazásra került harcjárművekről és helikopter fedélzetéről indítva. A Mi-24D széria kiöregedésével és/vagy felújításával, folyamatosan lecserélésre kerül valamelyik korszerűbb változatra. Már nem gyártják. [4][6][9][10][11]

#### ***AT-6 „Spiral”/9M114 „Sturm”***

A „Falanga” rakéta leváltására készült a Mi-24V/P helikopterekhez. A különlegessége abban az időben az volt, hogy a rakéta hangsebesség fölötti sebességgel repül. Jelenleg is rendszerben van, a Mi-24V/P helikopterek alapvető irányítható páncéltörő rakétája. Az alapváltozaton kívül még két modifikációja létezik AT-6B/9M114M1 és AT-6C/9M114M2. Mindkettő növelt indítási 6000 és 7000 m távolsággal rendelkezik. Megnövelték a harcászati tömegét 7,4 kg-ra, így a páncélatütőképessége megnövekedett, egyes források szerint 1000 mm körüli értékre. Folytak kísérletek tandem kumulatív harcászati felszerelésével is, de ez a változat már egy új típusszámot és nevet kapott. [4][6][9][12][13]

---

<sup>4</sup> HOT – Haut subsonique Optiquement Téléguidé – High Subsonic Optical Guided – hangsebesség alatti optikai irányítás

<sup>5</sup> TOW – Tube-launched, Optically-tracked, Wireguided – csőből indított optikai irányzású vezetékes távirányítású

### **AT-9 „Spiral-2”/9M120 „Ataka-V”**

Az AT-6 rakéta továbbfejlesztett változata. Tandem kumulatív harcírész és nagyobb energiájú hajtóművet szereltek rá. Az indítórendszere teljesen kompatibilis az AT-6 Spirál rakétával, alapvetően annak leváltására készült. [4][6][9][12][13][14]

### **AT-16/9M120M „Vihr”**

Az „Ataka”/”Sturm” rakéta továbbfejlesztett változat. Olyan repülőeszközökhöz készült melyek rendelkeznek lézer távolságmérővel és azt célmegvilágító üzemmódban is képesek alkalmazni, pl. Ka-50/52 helikopterek vagy a Szu-25 harcászati repülőgép. [4][6][15]

### **„Mokopa”**

Az AH-2 (CSH-2) „Rooivalk” harci helikopterhez fejlesztette a Denel Corporation. A rakéta alapváltozata félaktív lézer önirányítású, de készül félaktív rádió önirányítású és infravörös önirányítású változatban is. Az indítása történhet LOBL<sup>6</sup> és LOAL<sup>7</sup> üzemmódokon. [19][20][21]

### **Önirányítású légiharc rakéták**

Az utóbbi évtizedben megjelentek a harci helikopterek fedélzetén a légiharc rakéták, önvédelmi jelleggel, de helikopterek ellen akár kezdeményező harcra is alkalmas. Ezek az eszközök főként a már bevált raj, szakasz önvédelmére használt vállról indítható légvédelmi rakéták – „Stinger”, „Mistral”, „Iгла” – helikopter fedélzetére átalakított változatai. Mindhárom rakéta hasonló paraméterekkel rendelkezik és több változatban megjelent. Néhány adat az összehasonlítás érdekében:

Jellemzők/Típus	AIM-92 „Stinger” (Block I/II)	SA-18 „Grouse”/9K38 Iгла-1V	„Mistral”
Űrméret [mm]	70	72	90
Tömeg [kg]	16	11	18,7
Hossz [mm]	1520	1700	1860
Min. indítási távolság [m]	200		
Max.indítási távolság [m]	4500 (8000)	5200	5000-6000
Repülési sebesség [km/h]	2700	2200	3180
Cél max. repülési sebessége [km/h]	-	1300	
Harcirész	BF	BF	BF
Hracirész tömege [kg]	3 (0,45 HE)	2 (0,39 TNT)	3 (? HE)
Irányítás	PIR	PIR	PIR
Célkoordinátor	Argon hűtésű Indium Antimonid (InSb)	Nitrogén hűtésű Indium Antimonid (InSb)	
Ár [USD]	165000	60-80000 (2003)	
*BF blast fragmentation - repesz-romboló			

<sup>6</sup> LOBL - Lock On Before Launch - célbefogás az indítás előtt

<sup>7</sup> LOAL - Lock On After Launch - befogás az indítás után

#### 9. táblázat. Önirányítású légiharc rakéták adatai

Dolgozatomban nem volt szándékom bemutatni a jelenlegi fejlesztéseket, melyek a jövő helikopter fedélzeti fegyverei lehetnek. Az ismertetett eszközök és rendszerek a jelenlegi hadrendben álló harci helikopterek fegyverzetét képezi és számos ország hadserege üzemelteti ezeket.

## FELHASZNÁLT IRODALOM - IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Id/16 Idegen hadseregek katonai repülőerőiben rendszeresített főbb fedélzeti pusztítóeszközök, Magyar Honvédség kiadványa, 1993, 125-131, 151-164 oldal
- [2] KAKULA János Rakéták szerkezetana, Magyar Néphadsereg Kilián György Repülő-műszaki Főiskola, Szolnok, 1989, 3-12. oldal
- [3] ГОРДЕНКО, Ю. В. – МОРОЗОВ, В. П. – ПРИБЫЛОВ, А. С. Военная авиация 1, Попурри, Минск 2000, 121-123, 335-338, 354-357, 361-367 oldal
- [4] ГОРДЕНКО, Ю. В. – МОРОЗОВ, В. П. – ПРИБЫЛОВ, А. С. Военная авиация 2, Попурри, Минск 2000, 11-13, 55-59, 185-187, 235-237, 313-315, 335-336, 348-349, 352-353, 374-375 oldal
- [5] GUNSTON, B. Modern helikopterek (Harci fegyverek sorozat), Phonix könyvek, Debrecen, 1993, 24-25, 40-41, 46-47, 50-51, 56-57, 60-61 oldal
- [6] GUNSTON, B. Korszerű harci repülőgépek fegyverzete, Zrínyi Kiadó 1995, 134-137 oldal
- [7] Wikipedia The Free Encyclopedia (Euromissile HOT elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Euromissile\\_HOT](http://en.wikipedia.org/wiki/Euromissile_HOT)
- [8] Military Analysis Network, (M-220 Tube-launched, Optically-tracked, Wireguided missile (TOW) elektronikus dok.) url: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/tow.htm>
- [9] PARSCH, Andreas, - MARTYNOV Aleksey V. Designations of Soviet and Russian Military Aircraft and Missile (elektronikus dok.) url: [http://www.designation-systems.net/non-us/soviet.html#\\_Listings\\_AT](http://www.designation-systems.net/non-us/soviet.html#_Listings_AT)
- [10] Wikipedia The Free Encyclopedia (AT-2 Swatter elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AT-2\\_Swatter](http://en.wikipedia.org/wiki/AT-2_Swatter)
- [11] Military Analysis Network, (AT-2 Swatter Anti-Tank Guided Missile elektronikus dok.) url: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/row/at2swatter.htm>
- [12] Wikipedia The Free Encyclopedia (AT-6 Spiral elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AT-6\\_Spiral](http://en.wikipedia.org/wiki/AT-6_Spiral)
- [13] Military Analysis Network, (AT-6 Spiral Anti-Tank Guided Missile elektronikus dok.) url: <http://www.fas.org/man/dod-101/sys/land/row/at6spiral.htm>
- [14] Wikipedia The Free Encyclopedia (AT-9 Spiral-2 elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AT-9\\_Spiral-2](http://en.wikipedia.org/wiki/AT-9_Spiral-2)
- [15] Wikipedia The Free Encyclopedia (AT-16 Vikhr elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AT-16\\_Vikhr](http://en.wikipedia.org/wiki/AT-16_Vikhr)
- [16] Wikipedia The Free Encyclopedia (AIM-92 Stinger elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/AIM-92\\_Stinger](http://en.wikipedia.org/wiki/AIM-92_Stinger)
- [17] Wikipedia The Free Encyclopedia (Mistral missile elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/Mistral\\_missile](http://en.wikipedia.org/wiki/Mistral_missile)
- [18] Wikipedia The Free Encyclopedia (SA-18 Grouse elektronikus dok.) url: [http://en.wikipedia.org/wiki/9K38\\_Igla](http://en.wikipedia.org/wiki/9K38_Igla)
- [19] Wikipedia The Free Encyclopedia (Mokopa elektronikus dok.) url: <http://en.wikipedia.org/wiki/Mokopa>
- [20] Denel HomePage/Products Anti-Armour Missiles url: <http://www.kentron.co.za/Home.asp?Page=antiarmer>

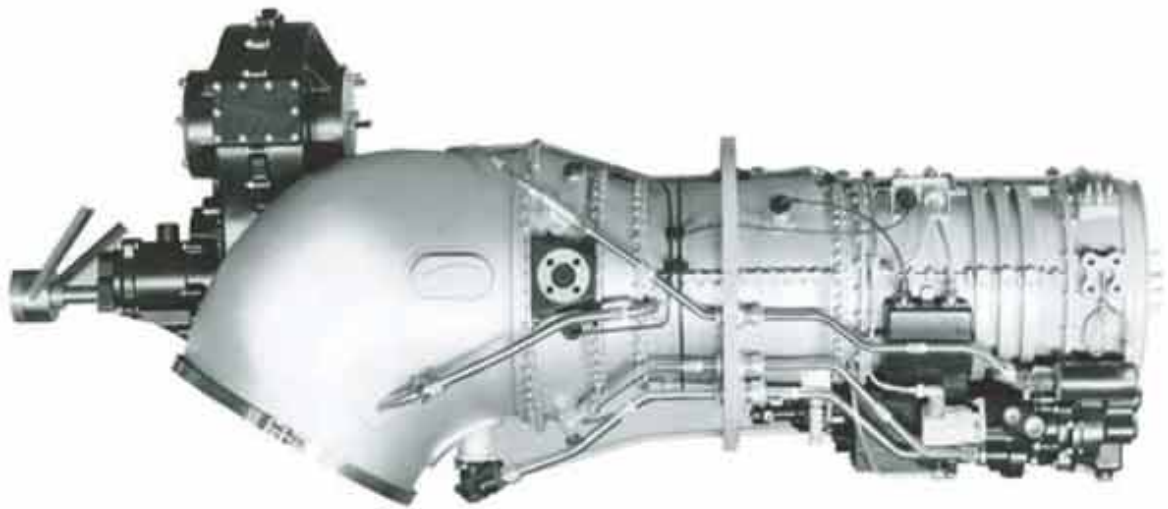
- [21] Denel Officials Mokopa (elektronikus dok.) url:  
[http://www.denel.co.za/Resources/AS\\_Mokopa.pdf](http://www.denel.co.za/Resources/AS_Mokopa.pdf)
- [22] Richard Jordan Gatling (elektronikus dok.) url:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Richard\\_Jordan\\_Gatling](http://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Jordan_Gatling)



## HELIKOPTER HAJTÓMŰVEK TERMIKUS ÖSSZEHASONLÍTÁSA

### KORAI HELIKOPTER GÁZTURBINÁK

Az 50-es évek elején a General Electric egy 3 millió dolláros szerződést kapott az Egyesült Államok kormányától egy új, könnyű és megbízható helikoptereken alkalmazható tengelyteljesítményt szolgáltató gázturbinára kifejlesztésére. A titkos program XT-58 elnevezéssel indult és a végeredmény egy 800 Le (596 kW) tengelyteljesítményű gázturbina lett, amely mindössze 181 kg-ot nyomott.



1. ábra. Az XT-58-as, mely kialakításában a mai hajtóműveket idézi.

2.



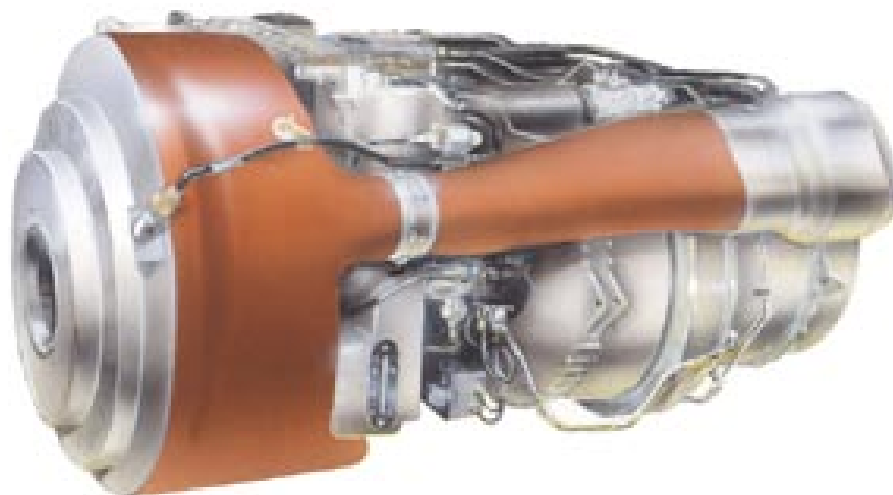
2. ábra. Az Izotov TV2-117A hajtómű volt az első orosz helikopterbe tervezett hajtómű

Továbbfejlesztve ezt a hajtóművet 1957-re a teljesítménye 1050 Le-re (783 kW) növekedett, súlya pedig 114 kg-ra csökkent. Ebben az évben két T58 hajtóművel helyettesítették egy Sikorsky HSS-1F helikopter dugattyús erőforrását és ezzel először emelkedett levegőbe az USA-ban gázturbinás helikopter. Felismerve az új fejlesztés gyakorlati jelentőségét egy sor helikopter gyártó (Sikorsky, Kaman) kezdte el alkalmazni az újonnan kifejlesztett T58 gázturbinát a helikoptereikben.

Az első szovjet második generációs helikopter 1957-ben jelent meg. Ez a MI-6 nehéz szállító és csapatszállító helikopter volt. Az 50-es évek második felében Mikhail Leontyevich Mil, a Mil tervezőiroda vezetője elhatározta egy forradalmian új helikopter tervezését a közepes szállító kategóriában is leváltandó az akkorra már elavuló MI-4-es helikoptereket.

1958. február 20-án a Szovjetunió Minisztertanácsa magáévá tette ezt a gondolatot és elrendelte egy 1,5-2 tonna hasznos teher szállítására alkalmas helikopter kifejlesztését V-8 típusjelzéssel, amelynek az erőforrását egy darab Ivchenko AI-24V helikopteres alkalmazáshoz igazított turbólégcsavaros hajtómű biztosította. Az egy-hajtóműves V-8 helikopter először 1961. június 24-én emelkedett levegőbe.

Felismerve a hátrányait az AI-24V hajtóműnek, az Izotov Hajtómű-tervező Iroda utasítást kapott, egy, valóban helikopteres alkalmazásra optimalizált hajtómű kifejlesztésére (a TV-2VM és a D-25V hajtóművek, amelyeket a MI-6-os esetében alkalmaztak, eredetileg merevszárnyú repülőgépek számára tervezték). Az Izotov Iroda által tervezett új TV2-117 hajtómű és a VR-8 reduktor 1962 nyarán került leszállításra. A hajtómű felszálló üzemmódon 1500 Le (1118 kW) teljesítményt produkált, viszonylag jó fajlagos mutatók mellett.



3. ábra. Az RTM-322 hajtómű, amely a helikopter hajtóművek új generációjának képviselője

A helikopter hajtóművek azóta jelentős fejlődésen mentek keresztül. Kompaktabbá váltak, súlyuk csökkent, teljesítmény és hatásfok mutatóik pedig javultak. Az új generációs helikopter hajtóművek képviselője az RTM-322 hajtóműcsalád is, amely a Turbomeca Ltd., a Rolls-Royce és a Turbomeca közös vállalkozásának terméke. A hajtóműcsalád tagjai széles körben kerültek beépítésre különböző katonai és polgári helikopterekbe, így az EH101, NH90, Apache, H-92/S-92, H-60, S-70-es helikopterekbe.

Figyelembe véve, hogy a két korai helikopter hajtómű az amerikai és a szovjet oldalról nagyjából egy időből származik, teljesítménymutatóik is hasonlóak, ami érdekessé teheti a két hajtómű összehasonlítását. Ugyanakkor a harmadik már egy gyökeresen új technológiai színvonalat testesít meg. Összehasonlítva az első kettővel az elemzés rávilágíthat az utóbbi 30-40 év eredményeire.

## A TERMIKUS VIZSGÁLATHOZ SZÜKSÉGES ADATOK

Ha termikusan elemezni szeretnénk egy gázturbinát, legelőször minden fellelhető adatot össze kell gyűjtenünk róla. A gyártók általában egy, két üzemmódra viszonylag sok adatot megadnak. Azt az üzemmódot érdemes választanunk, amelyre a legtöbb adat áll rendelkezésre. Ez legtöbbször a felszálló üzemmód. Ilyen adatok lehetnek a kompresszor nyomásviszony, a hajtómű levegőfogyasztása, levegő elvételek, az égőtér utáni hőmérséklet, az üzemanyag-fogyasztás, vagy a fajlagos üzemanyag-fogyasztás, a hasznos tengelyteljesítmény. Természetesen minél több adatunk áll rendelkezésre, annál pontosabb lehet az elemzésünk.

Az adatokat két csoportba érdemes besorolnunk az egyik csoportot alkotják azok az adatok, amelyek feltétlenül szükségesek a számítási folyamat elvégzéséhez. A másik csoportba tartozó adatokat csak a számítási folyamat elvégzése után az eredmények ellenőrzésére használjuk.

Összegyűjtött hajtómű adatok:

1. táblázat

Adatok	Vizsgált hajtóművek		
	TV2-117A	T58-GE-100	RTM-322-01/9
Kompresszor nyomásviszony	6,6	8,4	15
Kompresszor tömegáram [kg/s]	6,8	6,35	5,3
Égőtér utáni hőmérséklet [K]	1123	1145	1460
Fajl. üza. fogyasztás [kg/(kWh)]	0,374	0,368	0,2702
Tüzelőanyag fűtőértéke [MJ/kg]	42,8	42,8	42,8
Tengely teljesítmény [kW]	1118	1118	1799
Hajtómű súly [kg]	334	152	228

## EGYÉB ADATOK (VESZTESÉGEK, HATÁSFOKOK, GÁZJELLEMZŐK)

Természetesen nem csak ezek az adatok szükségesek a termikus elemzéshez, hanem a hajtómű különböző részeihez, gépegységeihez tartozó veszteségek és hatásfokok is. Az előző adatokkal ellentétben ezeket a gyártók sohasem közlik. Így nem is tudhatjuk a korrekt veszteség adatokat, de különböző szakirodalmakból tudhatjuk, hogy az adott korból származó hajtómű körülbelül milyen hatásfokokat produkálhat, ami kiinduló értékeknek megfelel.

A számítási folyamathoz ismernünk kell még a gázjellemzőket, nevezetesen  $c_p$ ,  $\kappa$ , és  $R$  értékeit, amelyek hőmérséklet függőek. Meghatározásukhoz táblázatokat használhatunk, de egy egyszerű programot szerkesztve még egyszerűbbé válik a meghatározásuk.

Hatásfokok és veszteségek:

2. táblázat

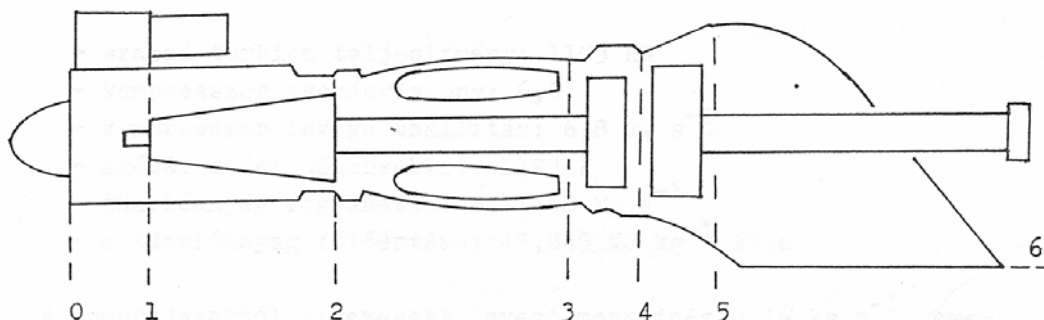
	TV2-117A	T58-GE-100	RTM-322-01/9
Szívócsatorna nyomásveszteség	0,99	0,99	0,99
Kompresszor hatásfok	0,83	0,83	0,837
Égőtér nyomásveszteség	0,97	0,97	0,98
Égőtér hatásfok	0,97	0,97	0,98
Kompresszorturbina hatásfok	0,87	0,87	0,88
Szabadturbina hatásfok	0,87	0,87	0,88
Gázelvezető nyomásveszteség	0,97	0,97	0,98
Teljesítmény elvétel [kW]	30	30	30
Gáz gen. mechanikai hatásfok	0,99	0,99	0,99
Szabad turbina mech. hatásfok	0,99	0,99	0,99

## AZ ELEMZÉS MENETE

A számítási folyamatnál feltételezzük, hogy a hajtómű  $H = 0$  m-en és  $V = 0$  km/h repülési sebességen üzemel. A bemenő adatok tehát megfelelnek a Nemzetközi Egyezményes Légkör  $H = 0$  m szerinti adatoknak. A számításokat az alapvető termodinamikai összefüggéseket felhasználva végezzük el.

### A folyamat leírása:

- A hajtóműbe belépő közeg jellemzői megfelelnek a NEL  $H = 0$  m szerinti adatoknak: ( $p = 101325$  Pa,  $T = 288$  K).
- A szívócsatornában lejátszódó folyamat izotermikus, mérsékelt nyomásvesztéssel (kb. 0,99).
- A kompresszor kilépő keresztmetszetében a nyomást a kompresszor nyomásviszonnyal számíthatjuk. A hőmérséklet a Poisson egyenlettel (valós adiabatikus folyamat) számítható, figyelembe véve a kompresszor izentrópus határfokát.
- Az égőtér kilépési keresztmetszetére a hőmérséklet általában adott. Az égőtérben a folyamat izobár némi nyomásvesztéssel (0,97-0,98).
- A kompresszorturbina utáni paramétereket a kompresszor és a kompresszorturbina munkájának egyenlőségéből határozhatjuk meg, figyelembe véve a segédberendezések meghajtására levett teljesítményeket és a gázgenerátor egység mechanikai határfokát.
- A szabadturbina utáni nyomás jó közelítéssel meghatározható abból a feltételből, hogy a gázáram nyomása a kilépő keresztmetszetben a környezeti nyomással lesz egyenlő. Figyelembe véve a gázvezető nyomásvesztései tényezőjét (0,97-0,98) ebből meghatározhatjuk a szabadturbina utáni nyomást. Hőmérsékletet itt is a Poisson egyenlettel, a szabadturbina izentrópus határfokát, figyelembe véve határozhatjuk meg.
- Ahogy a fenti pontban megállapítottuk a kilépő keresztmetszetben a nyomás jó közelítéssel a környezeti nyomásnak felel meg és az állapotváltozás a gázvezetőben izotermikus lesz.



4. ábra. A hajtómű vizsgált keresztmetszetei

Az előző táblázatban összegyűjtöttem a különböző keresztmetszetek számított hőmérsékleti és nyomás adatait. A táblázat előtti vázlatos hajtómű rajz (4. ábra.) segítséget nyújt abban, hogy a hőmérsékleti és nyomásadatokat hozzá lehessen kötni a hajtómű megadott pontjaihoz.

Ezek az adatok túl, ami még talán fontosabb, általános képet kaphatunk a hajtóműről, részegységeinek határfokairól, veszteségeiről, vagyis, hogy mennyire jó az a hajtómű. Hogyan történik ez? Ahogyan a határfokok és veszteségek fejezetben említettem, első közelítésben a határfokokat, veszteségeket műszaki tapasztalatainkra, esetleg valamilyen szakirodalomra hagyatkozva vehetjük fel. Az első fordulóban a legritkább eset, hogy a számítási eredményeink tökéletesen simuljanak az ellenőrzésre félretett adatokkal. Ennek megfelelően a határfok és veszteségi adatokat addig kell igazítani, ameddig a számításunk az elvárt hibahatáron belülre nem kerül (3-5%). Ebben az esetben már elfogadhatjuk számításaink eredményeit és az ekkor alkalmazott határfok és

veszteség adatok már jól tükrözik a hajtómű általános képét. A 2. táblázatba már ezek a végleges hatásfok és veszteségi adatok kerültek be.

Hőmérsékletek és nyomások a különböző keresztmetszetekben.

3. táblázat

		<b>TV2-117A</b>	<b>T58-GE-100</b>	<b>RTM-322-01/9</b>
0	Szívócsatorna előtti hőmérséklet ( $T_0$ ) [K]	288	288	288
	Szívócsatorna előtti nyomás ( $p_0$ ) [Pa]	101325	101325	101325
1	Kompresszor előtti hőmérséklet ( $T_1$ ) [K]	288	288	288
	Kompresszor előtti nyomás ( $p_1$ ) [Pa]	100312	100312	100312
2	Égőtér előtti hőmérséklet ( $T_2$ ) [K]	532	573	678
	Égőtér előtti nyomás ( $p_2$ ) [Pa]	662058	842619	1504676
3	Kompresszorturbina előtti hőm. ( $T_3$ ) [K]	1123	1145	1460
	kompresszorturbina előtti nyom. ( $p_3$ ) [Pa]	642196	817340	1474583
4	Szabadturbina előtti hőmérséklet ( $T_4$ ) [K]	909	895	1136
	Szabadturbina előtti nyomás ( $p_4$ ) [Pa]	235029	252241	424957
5	Gázelvezető előtti hőmérséklet ( $T_5$ ) [K]	762	738	844
	Gázelvezető előtti nyomás ( $p_5$ ) [Pa]	104365	104365	103351
6	Kilépő keresztmetszet hőm. ( $T_6$ ) [K]	762	738	844
	Kilépő keresztmetszet nyomása ( $p_6$ ) [Pa]	101325	101325	101325

## ÖSSZEFOGLALÁS

Ahogy a fentiekben említettem az első két hajtómű a 60-as évek első feléből származik. A leadott tengelyteljesítményük is megegyezik. Elvégzett termikus számítás azt bizonyítja, hogy a gépegységek hatásfokai veszteségei is gyakorlatilag megegyeznek. Az amerikai hajtómű fajlagos fogyasztása (T58-GE-100) egy kicsivel jobb, amit azonban a magasabb kompresszor nyomásviszony miatti magasabb termikus hatásfok okoz.

Az RTM-322 hajtóművet vizsgálva látjuk, hogy szinte valamennyi gépegység jobb hatásfokot, illetve kevesebb veszteséget produkál. Egy-egy gépegységben nem tűnik számottevőnek ez a javulás, de összegezve ezeket a javulásokat, valamint figyelembe véve a kompresszor nyomásviszony jelentős növekedéséből adódó magasabb termikus hatásfokot az RTM-322 összh hatásfoka és fajlagos fogyasztása a vártak megfelelően szignifikánsan jobb.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VARGA Béla: A TV2-117A hajtómű termikus matematikai modellje, Diploma munka, Budapesti Műszaki Egyetem, 1990.
- [2] <http://www.mi-helicopter.ru/eng/getarticle.php?id=275>
- [3] <http://www.aircraftenginedesign.com/TableB1.html>
- [4] [http://www.rolls-royce.com/defence\\_aerospace/downloads/helicopters/rtm322.pdf](http://www.rolls-royce.com/defence_aerospace/downloads/helicopters/rtm322.pdf)
- [5] [http://www.turbomeca.com/public/turbomeca\\_v2/html/en/produits/sous\\_famille\\_home.php?sfid=509&mid=615](http://www.turbomeca.com/public/turbomeca_v2/html/en/produits/sous_famille_home.php?sfid=509&mid=615)



## HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ ÖSSZESZERELŐ RENDSZERNÉL A FELHASZNÁLÓK KÉSZTERMÉKIGÉNYEINEK SZERELŐÜZEMEKHEZ VALÓ HOZZÁRENDELÉSE KÖZVETETT ELOSZTÁS ÉS ÖSSZETETT CÉLFÜGGVÉNYEK ESETÉN

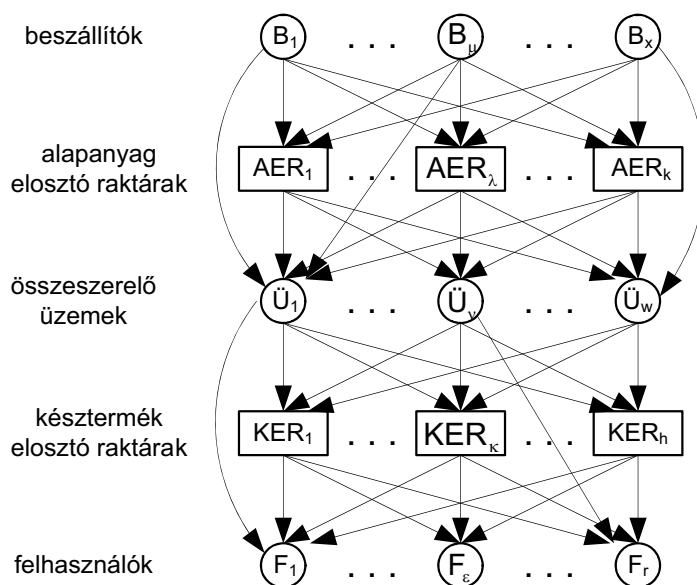
**Absztrakt:** Jelen tudományos dolgozat előzménye, hogy a korábbi publikációkban részletezett hálózatszerűen működő összeszerelő rendszer esetén a felhasználók késztermék igényeit a szerelőüzemekhez rendelő heurisztikus algoritmusok vizsgálata során a célfüggvény - mint egyszerűsített költségfüggvény - meghatározásakor közvetlen kiszállítást tételeztünk fel. A dolgozat a korábban felvázolt modellre támaszkodva részletezi, hogy az elosztási feladatok közvetett elosztás és bővített célfüggvény segítségével történő megoldása milyen költségváltozást eredményez az egyszerű célfüggvényhez és a közvetlen kiszállításhoz képest. A szerzők a dolgozat első fejezeteiben ismertetik az egy elosztóraktáras modell leírását, illetve a bővített célfüggvény ismertetését (raktározási és szerelés-előkészítési költség). A következő fő tartalmi egységben egy egyszerű szám példa kerül bemutatásra, végül a tudományos munka befejező részben kerül sor a bemutatott modellekhez kapcsolódó módszerek vizsgálati eredményeinek kiértékelésére, összehasonlítására, valamint az elosztási rendszer optimális működtetéséhez szükséges további feladatok megfogalmazására, illetve az adatstruktúra változásának hatásaira.

**Kulcsszavak:** Logisztika, szerelőüzem, felhasználó, elosztóraktár, hálózat, tervezés, optimalizálás, késztermék.

### BEVEZETÉS

A hálózatszerűen működő logisztikával integrált összeszerelő rendszer alatt azt értjük, amikor a termelés-tervezés a beszerzési és az elosztási logisztikai rendszerrel integráltan kerül megtervezésre, vagyis nemcsak a termelési, hanem a logisztikai erőforrások és tényezők együttes optimumát keressük. A hálózatszerűség azt jelenti, hogy ugyanazt a terméket több, térben különböző helyeken lévő szerelőüzem is elő tudja állítani, a szereléshez szükséges egyes alkatrészeket több térben különböző elhelyezkedésű beszállítótól lehet beszerezni. A hálózatszerűség továbbá azt is jelenti, hogy az alkatrész beszerzés és a késztermék elosztás lehet közvetlen és közvetett, azaz elosztóraktáron keresztül. A hálózatszerűségnél a logisztikával integrált termelés-tervezés így kitér arra is, hogy a kapacitáskorlátokat és feltételeket figyelembe véve a felhasználói igényeket kielégítve a megfogalmazott célfüggvények szerint keressük az optimális megoldást. A hálózatszerűen működő összeszerelő rendszernek, mint a logisztikával integrált termelési rendszer matematikai modellezésével és optimalizálásával a nemzetközi szakirodalomban nem találtunk még kezdeti próbálkozást sem. Ugyan ezen rendszerek leírása számos helyen megtalálható, de matematikai modellezésére és optimalizálására legfeljebb csak utalások találhatók. A nemzetközi szakirodalomban mindössze a logisztikával integrált termelés-ütemezésre találtunk jelentős eredményeket [6, 14, 15, 16]. Ezekből megállapítható, hogy a használatos célfüggvények és feltételek összhangban vannak az általunk is használatosakkal. Ugyanakkor az általunk felvázolt rendszerben a célfüggvényeket és feltételeket más formában lehet leírni, ebből következik, hogy az optimalizálásra is csak az ezekben felvázolt elveket lehetett használni. Mindezek tették azt szükségessé, hogy ezen logisztikai modellek megoldásának a Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszékén ezen területen elért jelentős eredményekre támaszkodjunk [1, 2, 3, 4, 7]. A termelés-ütemezésnél messzemenően figyelembe kell venni, hogy az egy telephelyes termelési formák hálózatszerűen működő termelési rendszerekké (1. ábra)

alakultak, ill. alakulnak át. A felvázolt modellben adottnak tekintjük az egyes felhasználók egyes késztermékekből megrendelt mennyiségét egy adott időszakban.



1. ábra. Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszer

A rendszer a következő egységekből épül fel: központi szerepet töltenek be a szerelőüzemek ( $\ddot{U}_v$ ), amelyeket megelőznek az alkatrész elosztó raktárak ( $AER_\lambda$ ), illetve amelyeket a készáru elosztóraktárak ( $KER_k$ ) követnek. Az alkatrészeink beszállítása a fent említett szerelőüzemekbe történhet: közvetett módon, azaz elosztóraktárakon keresztül, illetve közvetlen beszállítással a beszállítók ( $B_\mu$ ) által az elosztóraktárak elkerülése esetén. A késztermékeket hasonló módon lehet kiszállítani a felhasználókhöz ( $F_c$ ), azaz közvetlenül a szerelőüzemekből, illetve közvetett módon a készáru elosztóraktáron keresztül.

E bonyolult, nagyméretű, hálózatszerű logisztikai rendszer optimális működtetése, teljesen újszerű elméleti megalapozást igényelt a tervezési és irányítási módszereknél [5, 17, 18]. A megoldandó feladat egy logisztikával integrált szerelésütemezési feladat, amelybe beletartozik a késztermékek elosztása, készletezése és az alkatrészek készletezése is. Ezek megoldásánál különböző célfüggvényeket és feltételeket kell, illetve lehet figyelembe venni. Első esetként az optimalizálásnál a költségfüggvényt választottuk célfüggvényként, mely komponenseit a [8] dolgozatban részleteztünk. A vázolt, hálózatszerűen működő logisztikai rendszer költségfüggvényében szereplő nagy számú optimalizálandó paraméter és a rendszer nagy méretei miatt az optimalizálást egy egymáshoz hierarchikusan kapcsolódó visszacsatolós, többlépcsős heurisztikus módszerrel oldjuk meg, aminek moduljait a [8] tudományos munka mutatta be. A szerzők a [9] publikációban már megfogalmazták közvetlen kiszállítás esetére az egyes késztermékek szerelő üzemekhez való hozzárendelés alapelveit, megoldási lehetőségeit és heurisztikus algoritmusait. A [10] dolgozat foglalja össze az egy-elosztóraktáros modellt és algoritmusának leírását. A [10, 11] publikációkban konkrét számpéldán keresztül bemutatásra kerültek az ismertetett algoritmusok a közvetlen és közvetett elosztás esetére is termékenkénti ingajáratok figyelembevételével. A [12] dolgozat a különböző körjáratípusok szemléltetését, illetve a járattervezési algoritmusok leírását ismerteti, valamint a közvetlen és közvetett elosztás esetére is egy konkrét számpéldán keresztül elvégzi a bemutatott járatípusok összehasonlítását. A [13] dolgozat összetett célfüggvények segítségével határozta meg a hozzárendelést közvetlen elosztás esetén. A szerzők e dolgozat fő tartalmi egységében szintén az összetett célfüggvény segítségével a konkrét számpéldán keresztül határozzák meg az egyes költségfüggvények értékét közvetett kiszállítás esetére is, valamint a tudományos munka vizsgálati eredményeinek kiértékelését végzik el.



## A modell teljes költségfüggvénye

$$K = K_V + K_{SZ} + K_T + K_M + K_{AM} + K_\Psi + K_R + K_D \rightarrow \min. \quad (1)$$

ami az alkatrész vásárlási költség ( $K_V$ ), szállítási költség ( $K_{SZ}$ ), tárolási költség ( $K_T$ ), a szerelési költség ( $K_M$ ), a szerelősorok átállítási költség ( $K_{AM}$ ), a sorok állásából származó veszteségi költség ( $K_\Psi$ ), a késztermék raktározási költség ( $K_R$ ), és az elosztási költség ( $K_D$ ) összegeként adódik.

A korábbi vizsgálataink során az (1) teljes költségfüggvényt leegyszerűsítettük és csak az elosztási- és a szerelési költségeket vettük figyelembe az évi késztermék igények üzemek és elosztóraktár közötti optimális elosztásnak kielégítésekor. Ugyanis az a modul nem foglalkozott a szerelés és a kiszállítás ütemezésével, ezért nem voltak számításba vehetőek az átállítási költségek, az alkatrész és késztermék tárolási költségei, ill. a számításba vett költségek is globálisak, egyszerűsítettek voltak. A fent említett költségkomponenseket nem kellett bevonni az optimalizálásba, mert a hozzárendelés azon léptékénél nem voltak ismereteseek, de jelen dolgozatban figyelembe vesszük és a visszacsatolás elvén hatása is megjelenik.

## A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye az $i$ -edik termékénél

$$K_K^i = K_M^i + K_D^i \rightarrow \min. \quad (2)$$

ahol  $K_M^i$  a szerelési költség,  $K_D^i$  pedig az elosztási költség.

A feladat során adott a  $\mathbf{Q}$  mátrix, amely megmutatja az  $\varepsilon$ -edik felhasználó által az  $i$ -edik termékből megrendelt mennyiséget. Keressük az  $\mathbf{Y}$  mátrixot, amely azt adja meg, hogy

- az  $i$ -edik terméket az  $\varepsilon$ -edik felhasználó melyik szerelőüzemből ( $v$ ) kapja (**a eset**), tehát  $y_{\varepsilon v}^i$  csak 0

$$\text{vagy 1 értéket vehet fel a következő feltétellel: } \sum_{v=1}^w y_{\varepsilon v}^i = 1, \quad (3)$$

vagyis minden felhasználó csak egy szerelőüzemből kaphatja az  $i$ -edik terméket.

- vagy az  $i$ -edik készterméket az  $\varepsilon$ -edik felhasználó milyen arányban kapja a  $v$ -edik üzemből (**b eset**), tehát  $y_{\varepsilon v}^i$  0 és 1 közötti értéket is felvehet (vagyis a felhasználók több üzemből is

$$\text{kiszolgálhatók) az alábbi feltételekkel: } 0 \leq y_{\varepsilon v}^i \leq 1 \text{ és } \sum_{v=1}^w y_{\varepsilon v}^i = 1. \quad (4)$$

## A szállítási költségfüggvény az $i$ -edik termékénél

$$K_D^i = \sum_{v=1}^w \sum_{\varepsilon=1}^r k_i^{SZ} Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon v}^i s_{\varepsilon v}, \quad (5)$$

ahol  $k_i^{SZ}$  az  $i$ -edik késztermék fajlagos szállítási költsége,  $s_{\varepsilon v}$  a szállítási úthossz a  $v$ -edik üzemből az  $\varepsilon$ -edik felhasználóhoz.

## A szerelési költségfüggvény az $i$ -edik termékénél

$$K_M^i = \sum_{v=1}^w \sum_{\varepsilon=1}^r Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon v}^i k_{iv}^M, \quad (6)$$

ahol  $k_{iv}^M$  a fajlagos szerelési költsége az  $i$ -edik terméknek a  $\lambda$ -edik üzemben.

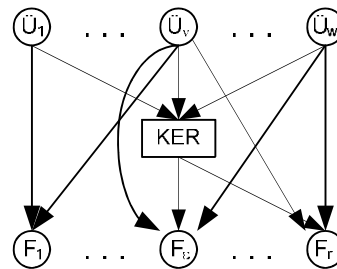
### A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye az $i$ -edik termékénél

A számításba vett egyszerűsített költségfüggvények alapján a (2) célfüggvény a következő formában írható fel [10]:

$$K_K^i = \sum_{v=1}^w \sum_{\varepsilon=1}^r Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon v}^i (k_i^{SZ} s_{\varepsilon v} + k_{iv}^M) \rightarrow \min. \quad (7)$$

Első lépésben megvizsgáljuk, hogy az egy elosztóraktáras modellnél az összetett költségfüggvények (szereléselőkészítési- és raktározási költség) hogyan módosítják a célfüggvény-értékeket az egyszerű hozzárendeléshez képest.

## EGY ELOSZTÓRAKTÁRAS MODELL



2. ábra. Az egy elosztóraktáras modell

Elosztóraktár (közvetett szállítás) esetén a következőképpen alakulnak a költségek:

$$K = K_{VE} + K_{RE} + K_{DE} \rightarrow \min. \quad (8)$$

ahol  $K_{VE}$  a vásárlási költség,  $K_{RE}$  a raktározási költség és  $K_{DE}$  az elosztási költség.

### A hozzárendelés célfüggvénye az $i$ -edik termékénél közvetett beszállítás esetén

$$K_E^i = K_{VE}^i + K_{DE}^i \rightarrow \min. \quad (9)$$

A raktározási költséget azért nem kell figyelembe venni, mert az elosztóraktár azt beépíti a vásárlási költségébe. Az elosztóraktárnál az (9) költségfüggvény a következőképpen alakul (vagyis formailag hasonló összefüggés adódik, mint közvetlen beszállítás esetén):

$$K_E^i = K_{VE}^i + K_{DE}^i = \sum_{\varepsilon=1}^r Q_{i\varepsilon} y_{\varepsilon E}^i (k_i^{SZ} s_{\varepsilon E} + k_{Ei}^V) \quad (10)$$

### Az elosztóraktárból való kiszállítás és a fajlagos vásárlási költség

Az elosztóraktárból való fajlagos vásárlási költség egy adott  $i$  termékénél

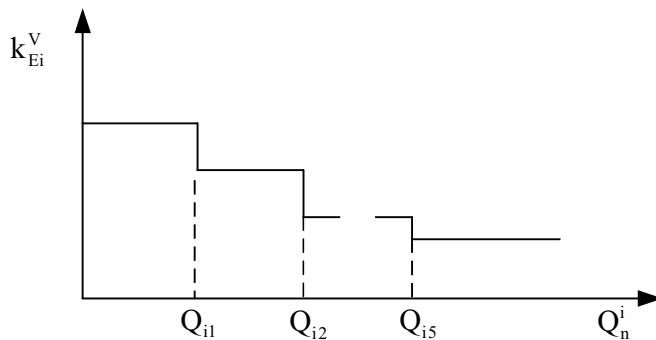
- függ a szerelőüzemeknek a maximális szerelőkapacitással súlyozott értékétől

$$\bar{k}_{Mi} = \sum_{v=1}^w \frac{C_v^i}{C_0^i} k_{iv}^M, \text{ ahol } C_0^i = \sum_{v=1}^w C_v^i. \quad (11)$$

- a megrendelt mennyiségtől és a megrendelési beérkezések időpontjától, azaz bevittük a költségbe az időtényezőt is

$$k_{Ei}^V = \delta_i \{Q^i\} \alpha_i \{t_{RE} - t_{RF}\} \bar{k}_{Mi}. \quad (12)$$

A  $\delta\{Q^i\}$  függvény:



ahol

$$\delta_{i1} = 1,3 \quad 0 < Q_i \leq 1000$$

$$\delta_{i2} = 1,2 \quad 1000 < Q_i \leq 2000$$

$$\delta_{i3} = 1,1 \quad 2000 < Q_i \leq 3000$$

$$\delta_{i4} = 1,0 \quad 3000 < Q_i \leq 4000$$

$$\delta_{i5} = 0,9 \quad 4000 < Q_i \leq 5000$$

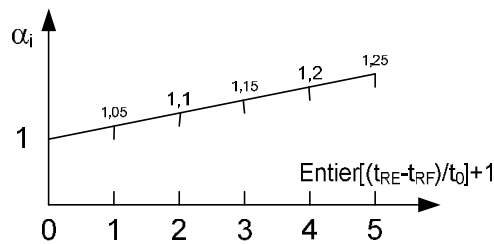
$$\delta_{i6} = 0,8 \quad 5000 < Q_i$$

3. ábra. fajlagos vásárlási költség

Ha  $t_{RF}^i$  az  $i$ -edik termékénél a rendelési idő:  $t_{RF}^i = t_0 \Delta^i$ , azaz az elosztóraktárba való rendelésbeérkezést követően az igényt ekkor kell kielégíteni, ill. ha  $t_{RE}^i$  az elosztóraktárnál az  $i$ -edik termék megrendelési ideje:

ha  $t_{RF}^i \geq t_{RE}^i$ , akkor  $\alpha_i = 1$ , nincs késve rendelési felár;

$t_{RF}^i < t_{RE}^i$ , akkor  $\alpha_i$  értékét az ábrán látható módon határozzuk meg.



4. ábra. Az  $\alpha_i$  érték meghatározása

A [11] dolgozatban már megvizsgáltuk, hogy milyen feltételek mellett válik a közvetett beszállítás szükségsszerűvé, illetve előnyössé, így ezt most itt nem részletezzük.

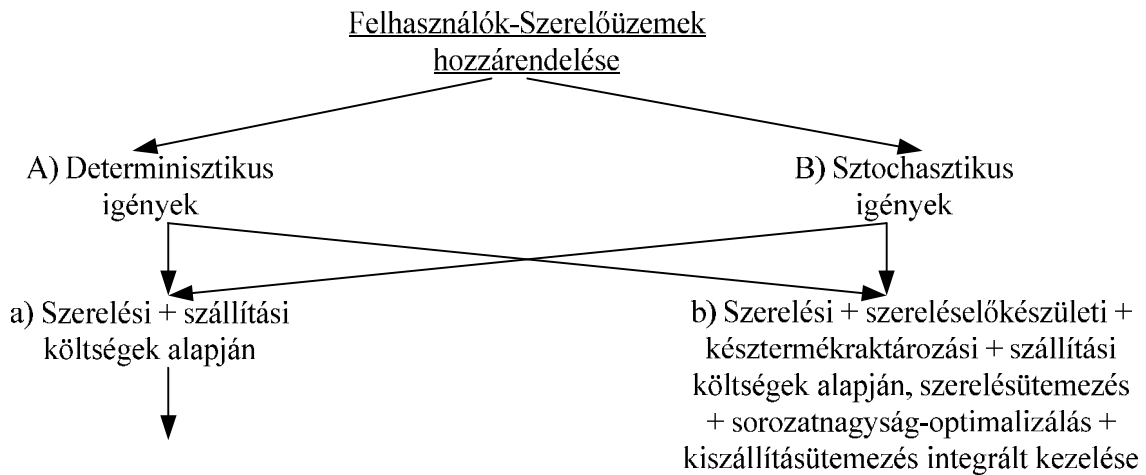
## FELHASZNÁLÓK-SZERELŐÜZEMEK OPTIMÁLIS HOZZÁRENDELÉSE BŐVÍTETT MODELL ALAPJÁN

A hálózatszerűen működő logisztikával integrált szerelőrendszer (1. ábra) két részrendszerre bontva került vizsgálatra:

- a beszállítói rendszer, amelyet a beszállítók, az alapanyag elosztóraktárak és az összeszerelő üzemek jelentenek;
- illetve az elosztási rendszer, amelyet a felhasználók, a késztermék elosztóraktárak és az összeszerelő üzemek alkotnak

E dolgozatot is kidolgozó kutatók - mint eddigi munkájuk során is - csak az előzőekben szétbontott feladat második részével foglalkoztak. A dolgozatban kitűzött feladatok pontos megfogalmazása érdekében feltárták az említett részfeladat teljes struktúráját (5. ábra). Ahogy az a következő struktúrából

is látszik első lépésben két főcsoportot különböztetünk meg, azaz két esetet vizsgálunk, amikor determinisztikusan, illetve amikor sztochasztikusan jelentkeznek az egyes felhasználói igények. Determinisztikusan, vagyis a késztermékgigény előre meghatározott, tehát az ütemezési időszakra adott, illetve sztochasztikusan, vagyis véletlen hatások is szerepet játszanak, így a késztermékgigény csak eloszlásfüggvényekkel adható meg. Mind a két esetben beszélhetünk egyszerűsített, ill. bővített célfüggvény szerinti hozzárendelésről.



5. ábra. A felhasználó igények szerelőüzemekhez való hozzárendelések struktúrája

Az eddigi kutatómunkánk során, csak determinisztikus modellekkel foglalkoztunk, ezen belül is olyan esettel, amikor a hozzárendelés évi össztermékgigény alapján történt és ebből adódóan csak a szerelési és szállítási költségeket vettük figyelembe. Ezen dolgozatban előírt ütemű (determinisztikus) a kiszállítás és ezért bővíteni kell a költségeket, és az optimalizálásnak ki kell terjedni a szerelésütemezésre ill. a sorozatnagyságra. E dolgozat terjedelme a kitűzött feladatnak is csak egy részét teszi lehetővé.

- 1. lépés: Az előző dolgozatban az egész évi felhasználói igényre vonatkozó szerelőüzem-felhasználó optimális hozzárendelésből kiindulva meghatározásra kerül a kiszállítás, a szerelés és a sorozatnagyság optimalizálása;
- 2. lépés: A teljes részrendszer költségei termékenként, szerelőüzemenként, költségkomponensenként kiszámításra kerülnek, és ezek elemzéséből következtetések készülnek.

Az előzőek alapján

- általánosságban felírjuk a további költségkomponenseket;
- megadjuk a logisztikával szerelés algoritmusát;
- elvégezzük az 1. és 2. lépésben meghatározott számításokat.

### A felhasználók késztermék igényeinek szerelőüzemekhez történő hozzárendelése bővített célfüggvények esetén

Első lépésben egyszerű célfüggvény alapján induló hozzárendelést határozunk meg, majd ezt követi a második lépés, ami egy logisztikával integrált szerelésütemezés.

$$K_{SEv} + K_{Rv} = K_{v0} \rightarrow \min. \quad (13)$$

ahol  $K_{SEv}$  a szereléselőkészületi költség,  $K_{Rv}$  a raktározási költség és  $v$  a szerelőüzem.

### Szereléselőkészítési költség

$$K_{SEv} = \sum_{i=1}^n k_{Evi}^S z_{vi} \quad (14)$$

ahol  $k_{Evi}^S = [\text{EURO}/\text{sorozat}]$  az  $i$ -edik termék egy sorozatának előkészítési költsége a  $v$ -edik szerelőüzemben;  
 $z_{vi}$  a  $\Delta T_0$  alatt a  $v$ -edik üzemben elindított sorozatok száma az  $i$ -edik termékből.

### Raktározási költség

$$K_{Rv} = \sum_{i=1}^n k_{Rvi} \sum_{j=1}^{m^*} A_{vij} \quad (15)$$

ahol  $A_{vij}$  a készletdiagram területe a  $v$ -edik szerelőüzem  $i$ -edik termékénél a  $j$ -edik ütemben, ami kétféleképpen számítható vagy háromszög, vagy téglalap területének megfelelően.  
 $k_{Rvi} = [\text{EURO}/\text{dbó}]$  fajlagos raktározási költség;  
 $m^*$   $\Delta T_0$  időszak alatti ütemek száma.

**Kiegészítő célfüggvény,** amit még lehet vizsgálni

- ütemenként a működő szerelősorok száma minimális legyen;
- a működő szerelősorok száma minimális ingadozást mutasson.

## BŐVÍTETT CÉLFÜGGVÉNY HATÁSA A HOZZÁRENDELÉSI KÖLTSÉGEKRE

Az összehasonlítást egy konkrét számpéldán keresztül végeztük el, ahol az alapadatok a következők voltak:  $w=3$ ,  $r=6$ ,  $n=8$ . A  $Q = [q_{ie}]$  rendelési mátrix ezer és hatezer db/év közötti értékeket vehet fel, mely értékek átlaga kétezer darab körül kell legyen. Meg kell még adni a szerelőüzemek  $R^F$  kapacitásmátrixát is:

$$Q = i \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & \dots & \varepsilon & \dots & r \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.5 & 2.5 & 0 & 0 & 1.5 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 2 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1.5 & 0 & 0 & 1 & 2.5 & 0 \\ 2 & 1.5 & 1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 3 & 0 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [2\text{edb}], R^F = i \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 \dots & v & \dots w \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ n \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 2 & 2 \\ 0.5 & 0.5 & 1.5 \\ 1 & 1.5 & 0 \\ 1.5 & 0 & 2.5 \\ 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1.5 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [4\text{edb}] \quad S = \varepsilon \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 \dots & v & \dots w \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ \vdots \\ i \\ \vdots \\ r \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 1.5 \\ 2.5 & 0.6 & 1.2 \\ 1.8 & 2 & 1 \\ 0.6 & 0.5 & 1.5 \\ 2 & 1 & 2.5 \\ 2.2 & 1.2 & 0.2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad [100\text{km}]$$

Az  $S = [s_{ev}]$  útmátrix (szerelőüzemek és felhasználók közötti) értékei 20 és 250 km között változhatnak, átlaguk 100 km körül kell legyen.

A fajlagos szállítási és szerelési költség értékeket, és a szerelési időket is a korábbi példával megegyezően vettük fel:

$$k^{sz} = i \begin{bmatrix} 0.6 \\ 0.7 \\ 0.8 \\ 0.9 \\ 1 \\ 1 \\ 1.1 \\ 1.2 \end{bmatrix} k_0 \delta \left[ \frac{Ft / db}{100km} \right], k^M = i \begin{bmatrix} 0.7 & 0.525 & 0.875 \\ 1 & 0.75 & 1.25 \\ 1.2 & 0.9 & 1.5 \\ 0.8 & 0.6 & 1 \\ 1.3 & 0.975 & 1.625 \\ 0.9 & 0.675 & 1.125 \\ 1.4 & 1.05 & 1.75 \\ 1.1 & 0.825 & 1.375 \end{bmatrix} k_0 [Ft / db] t^M = i \begin{bmatrix} 0.2 & 0.3 & 0.1 \\ 0.8 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 1 & 0.8 \\ 0.9 & 0.7 & 0.8 \\ 1 & 0.2 & 0.4 \\ 0.5 & 0.1 & 0.3 \\ 0.7 & 0.6 & 0.5 \\ 0.4 & 0.2 & 0.3 \end{bmatrix} \left[ \text{óra} / db \right]$$

A  $k_0$  helyett  $k_{0x}$  jelölés lenne szükséges, ahol  $x$  az egyes fajlagos költségek indexét jelölné, mert értelmezzük a  $k_{0x} = c_x^* k_0$ , ahol  $c_x^*$  az arányossági paraméter. Ugyanis ezzel a felírással lehetőség nyílna az egyes fajlagos költségek arányának megváltoztatására. Jelen esetben azonban minden „ $x$ ” esetén  $k_{0x} = k_0$ , vagyis  $c_x^* = 1$ , azaz minden költségfüggvénynél azonos a  $k_0$  fajlagos alapköltség.  $k_0$  segítségével minden költséget azonos mértékben változtat.

Fajlagos szereléselőkészületi költség és -idő, illetve fajlagos raktározási költség:

$$k_{Evi}^S = i \begin{bmatrix} 2 & 1.5 & 4 \\ 3 & 3.2 & 1.6 \\ 1.5 & 2.8 & 2.2 \\ 4 & 2.6 & 1.8 \\ 2.5 & 1.7 & 3.2 \\ 3.5 & 2.4 & 2.5 \\ 1 & 3 & 1.3 \\ 1.2 & 3.2 & 3.4 \end{bmatrix} k_0 \left[ \frac{Ft}{\text{sorozat}} \right] t_{Evi}^S = i \begin{bmatrix} 0.9 & 1.1 & 0.7 \\ 1.2 & 0.8 & 1 \\ 0.6 & 0.9 & 1.1 \\ 1.4 & 0.7 & 0.8 \\ 1.3 & 1 & 0.7 \\ 1 & 0.6 & 1.2 \\ 0.8 & 0.9 & 0.6 \\ 1.2 & 1 & 0.7 \end{bmatrix} \left[ \text{óra} \right] k_{vi}^R = i \begin{bmatrix} 0.4 & 0.4 & 0.6 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 1 & 1.2 & 0.1 \\ 0.5 & 0.4 & 1.1 \\ 0.9 & 0.3 & 0.1 \\ 0.9 & 0.5 & 0.6 \\ 0.7 & 0.1 & 0.8 \\ 0.1 & 1.1 & 0.9 \end{bmatrix} \frac{k_0}{10} \left[ \frac{Ft}{dbó} \right] S_E = \begin{bmatrix} l \\ \vdots \\ \varepsilon \\ \vdots \\ r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.1 \\ 0.3 \\ 0.9 \\ 0.5 \\ 0.2 \\ 0.7 \end{bmatrix} \left[ 100km \right]$$

Az  $S_E = [s_{Ee}]$  útmátrix értékei 8 km és 100 km között változhat, átlaguk 40 km körül legyen, mert a vevői igény kielégítése érdekében az elosztóraktár közelebb található a felhasználókhhoz, mint a szerelőüzemek.

Olyan adatstruktúrát vettünk fel, amely a célul kitűzött különböző célfüggvények összehasonlításán kívül egyaránt alkalmas érzékenységi vizsgálatra, ill. a különböző optimalizálandó módszerek összehasonlítására is.

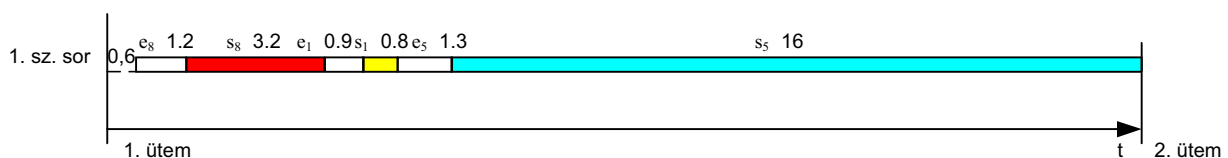
Az előzőekben ismertetett számpélda bővített célfüggvénnyel történő megoldása során, a **b** esetre (4) vonatkozó  $Y$  hozzárendelési mátrixot tekintettük kiinduló adatnak, azaz adottnak tételezzük fel a szerelőüzemek, valamint az elosztóraktár felhasználókhöz történő hozzárendelését egyszerű célfüggvény figyelembevételével. Mivel ezen hozzárendelést már elvégeztük, így ezt csak átvesszük a [12] dolgozatból:

$$Y = \varepsilon \begin{bmatrix} 1 & 0^{00} & E & E & 1^{00} & 0^{00} & 0^{00} & 1^{00} \\ \vdots & E & 0^{10} & 0^{00} & 0^{00} & E & 0^{00} & 0^{10} & 0^{00} \\ 0^{00} & E & 0^{01} & 0^{00} & 0^{01} & E & 0^{00} & E \\ 0^{00} & 0^{10} & 0^{10} & 0^{10} & 0^{00} & 0^{00} & 0^{00} & 0^{00} \\ \vdots & E & E & 0^{00} & E & E & 0^{00} & E & E \\ r & 0^{01} & 0^{00} & 0^{00} & 0^{00} & 0^{00} & 0^{00,67} + 0.33E & 0^{01} & 0^{00} \end{bmatrix}$$

Az  $Y$  háromdimenziós mátrixot úgy írjuk át a tömörebb ábrázolás érdekében, hogy  $Y = [y_{ei}^v]$ , vagyis a síkban az  $y_{ei}$  mátrix szerepel, azaz a mátrix sorai a felhasználókat jelentik, az oszlopok pedig a termékeket, valamint a  $v$  értéke (vagy az elosztóraktár  $E$  jele) kisebb számokkal a lapmélységet kifejezve oldalt kissé eltolva jelenik meg, tehát az első üzem a síkban, a második üzem az első kitevőben, míg a harmadik üzem a második kitevőben szerepel.

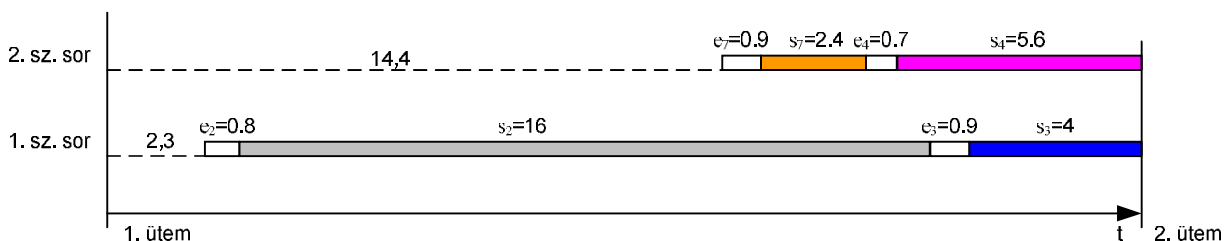
Ebben a dolgozatban vizsgálódásunk tárgya a bővített célfüggvény költségkomponenseinek meghatározása, mely során az első lépésben átvesszük a korábbi optimalizálás által kiadott  $Y$  hozzárendelési mátrixot, majd a második lépésben annival bővítjük a célfüggvényt, hogy belevevessük a raktározási és előkészületi költségeket, de nem módosítjuk az  $Y$ -t.

Az [13] dolgozatban ismertetett algoritmus segítségével megoldva a példát a következő három ábrán szemléltetjük az egyes szerelőüzemek szerelősorainak ütemenkénti kihasználtságát. A függőleges tengelyen a szerelősorokat, a vízszintes tengelyen az időt ábrázoltuk. Az ábrákon üres téglalappal vannak feltüntetve a szereléselőkészületi idők, színessel az egyes termékek szerelési idejei, míg szaggatott vonallal a sorok állásidejei vannak reprezentálva:



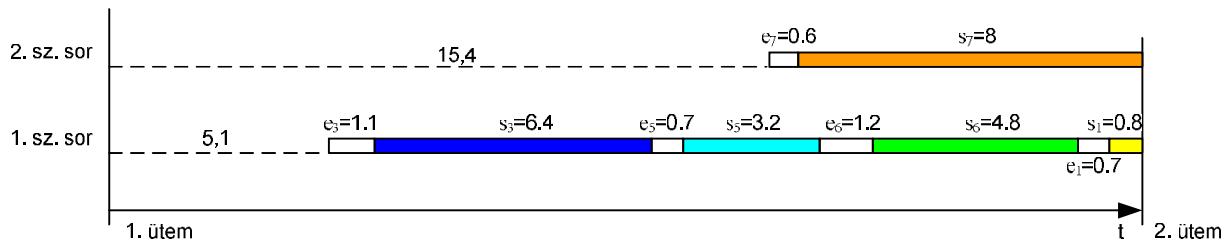
6. ábra. Az 1. üzem szerelősorának időbeni leterhelése

Az első üzem szerelősorának időbeni leterheléséből megállapítható, hogy egyetlen szerelősor is elegendő a kiszállítandó termékek összeszereléséhez. Ez a sor a maga 23,4 órájával 97,5 %-os kihasználtsággal üzemel. Az első üzem teljes kihasználtsága így szintén 97,5 %, amivel a legjobban teljesít a többi üzemhez képest.



7. ábra. A 2. üzem szerelősorainak időbeni leterhelése

A második üzem terhelési diagramjából kijelenthető, hogy itt már nem elegendő egy szerelősor a termékek összeszereléséhez. Az első sor a maga 21,7 órájával 90,416 %-os kihasználtsággal üzemel, míg a második sor az ütemenkénti 9,6 órás működésével csak 40 % kihasználtságú. A második üzem teljes kihasználtsága így 65,2083 %.



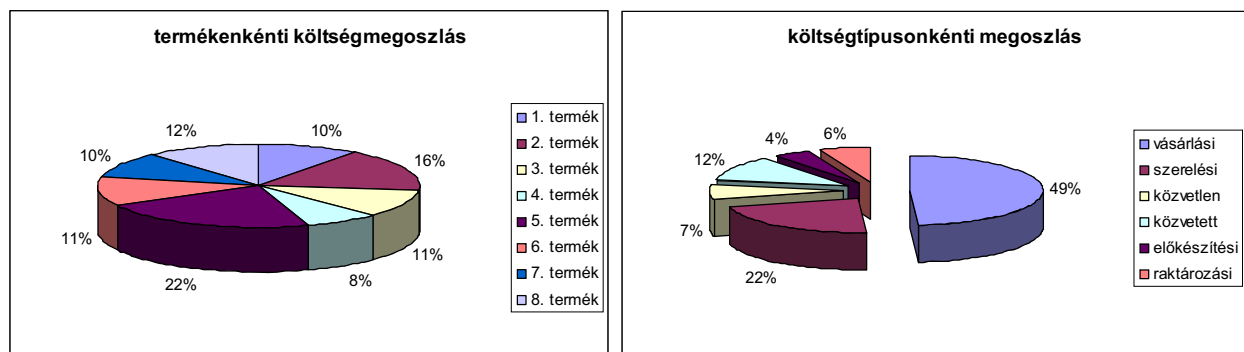
8. ábra. A 3. üzem szerelősorainak időbeni leterhelése

A harmadik üzem szerelősorainak időbeni terheléséből megállapítható, hogy itt sem elegendő egy szerelősor a termékek összeszereléséhez. Az első sor a maga 18,9 órájával 78,75 %-os kihasználtsággal üzemel, míg a második sor a maga 8,6 órájával mindössze 35,83 % kihasználtsággal működik. A harmadik üzem teljes kihasználtsága így csak 57,2916 %, ami a legrosszabb a három üzem közül.

Az ábrák segítségével könnyedén meghatározható az egyes késztermékek raktározási költsége, és a 3. fejezetben felvett fajlagos költségek felhasználásával a keresett célfüggvényértékek is kiszámíthatóak.

Hozzárendelés költségei termékenként 1. táblázat

Termékek	költségek [k <sub>0</sub> ]						
	vásárlási	szerelési	közvetlen	közvetett	előkészít	raktároz	összesen
1.	11249	2450	360	1260	1500	756	17575
2.	11896	6000	2940	3080	800	3096	27812
3.	9900	3900	2000	480	1250	532	18062
4.	8912	1200	900	1170	650	224	13056
5.	19153,5	8450	2800	2100	1425	3062	36990,5
6.	7381,5	4500	800	5000	625	936	19242,5
7.	4560	8050	1540	440	1075	1355	17020
8.	9873	2200	480	6720	300	412	19985
Összesen	82925	36750	11820	20250	7625	10373	169743



9. ábra. Termékenkénti és költség típusonkénti költségmegoszlás

A 9. ábra diagramjaiból megállapítható, hogy az összköltség termékenkénti megoszlása tekintetében az 5. és a 2. termék teszi ki a legnagyobb hányadot a maguk 22 % és 16 %-ával, míg a többi termék igen



egyforma hányadot tesz ki 8 és 12 % közötti értékeket produkálva. Azonban az egyes költségtípusok vizsgálatánál már nagyobb eltéréseket tapasztalunk: a vásárlási költség közel az összköltség felét teszi ki (49 %) és a szerelési költséghányad is jelentős (22 %) a közvetett és közvetlen szállítással együtt (12 + 7 %), míg a raktározási és a szereléselőkészületi költség csekély aránnyal szerepel (6 % és 4 %).

Az 1. táblázatból megállapítható, hogy a legkisebb szerelési költség a 4. termék esetében áll fenn (1200  $k_0$ ), ami természetesen is, hiszen ennek a terméknek az egyik legalacsonyabb a fajlagos szerelési költsége. Ugyanakkor a legnagyobb szerelési költség az 5. termékénél (8450  $k_0$ ) van, ami szintén nem meglepő, hiszen az egyik legnagyobb mennyiséget ebből a termékből igényelték a felhasználók, és a fajlagos szerelési költség is ennél a termékénél az egyik legmagasabb. A vásárlási költségek elemzése során a 7. termék esetén találhatjuk meg a legkisebb értéket (4560  $k_0$ ), ami szintén abból adódik, hogy ebből a termékből rendelték a legkevesebb mennyiséget. Míg a legnagyobb vásárlási költséget az 5. termék beszerzése okozza (19153,5  $k_0$ ), szintén a nagy mennyiségből adódóan. Közvetett szállításkor a legnagyobb értéket a 8. termék költségei adják (6720  $k_0$ ), melyet a 6. termék szorosan követ (5000  $k_0$ ), míg a legkisebb költséget a 7. és a 3. termék (440  $k_0$  és 480  $k_0$ ) elosztása okozza az elosztóraktárból. Közvetlen elosztásnál a 2. és 5. termék szállításkor jelentkezik a legnagyobb költség (2940  $k_0$  és 2800  $k_0$ ), míg a legkevesebb költséget az 1. és 8. termék okozza (360  $k_0$  és 480  $k_0$ ).

A felhasználónkénti és beszállítónkénti szállítási költségek 2. táblázat

Felhasználó	szállítási költség [ $k_0$ ]				
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összesen	elosztóraktár
1.	1400	-	-	1400	750
2.	-	1500	-	1500	1800
3.	-	-	3600	3600	12600
4.	-	3400	-	3400	-
5.	-	-	-	-	3700
6.	-	-	1920	1920	1400
Összesen	1400	4900	5520	11820	20250

Üzemenkénti és felhasználónkénti vásárlási és szerelési költségek 3. táblázat

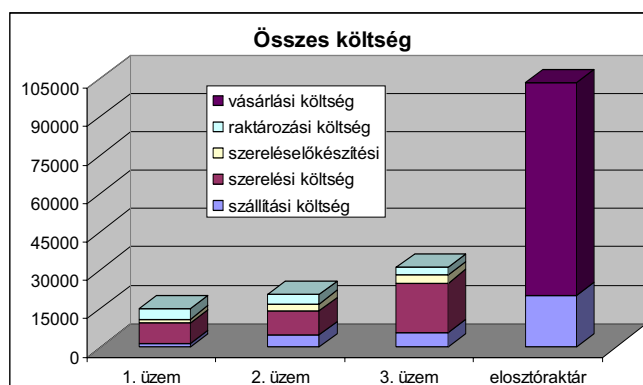
Vevő	Vásárlási költség [ $k_0$ ]	Szerelési költség [ $k_0$ ]			
	elosztóraktár	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	13567,2	8100	-	-	8100
2.	14230,55	-	2550	-	2550
3.	19053	-	-	6250	6250
4.	-	-	6600	-	6600
5.	33853,75	-	-	-	-
6.	2220,5	-	-	13250	13250
össz.	82925	8100	9150	19500	36750

A szállítási költségek elemzése során az 1. felhasználó esetében találhatjuk meg a legkisebb értéket (2150  $k_0$ ), míg a legnagyobb szállítási költséget a 3. felhasználónál realizálhatjuk (16200  $k_0$ ). A szerelési költségek esetében a 2. felhasználónál található a legkisebb érték (2550  $k_0$ ) miután az 5. felhasználónak csak elosztóraktárból szállítanak ki, míg a legnagyobb költség a 6. felhasználó esetén adódik (13250  $k_0$ ). Vásárlási költségek tekintetében a 6. felhasználó esetén adódik a legkisebb költség (2220,5  $k_0$ ) miután a 4. felhasználót csak közvetlenül az üzemekből elégítik ki, míg a legnagyobb vásárlási költség az 5. felhasználónál adódik (33853,75  $k_0$ ). Mind a szállítási, mind a szerelési költség esetében az 1. szerelőüzemnél adódik az összköltség vonatkozásában a legkisebb arány (4,37 % és 22 %), míg a szerelési költségek esetén a legnagyobb arány a 3. üzemnél (53 %) olvasható le, addig a szállítási költségeknél az elosztóraktárnál (63 %).

Üzemenkénti, felhasználónkénti szereléselőkészítési és raktározási költségek 4. táblázat

Vevők	Szereléselőkészítési költség [k <sub>0</sub> ]				Raktározási költség [k <sub>0</sub> ]			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	1425	-	-	1425	4000	-	-	4000
2.	-	950	-	950	-	849	-	849
3.	-	-	1350	1350	-	-	474	474
4.	-	1950	-	1950	-	2786	-	2786
5.	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	-	-	1950	1950	-	-	2264	2264
Össz.	1425	2900	3300	7625	4000	3635	2738	10373

A szereléselőkészítési költségek elemzésénél a 2. felhasználó esetében találhatjuk meg a legkisebb értéket (950 k<sub>0</sub>), miután az 5. felhasználónak csak elosztóraktárból szállítanak ki, ugyanakkor a legnagyobb előkészítési költséget a 4. és 6. felhasználónál realizálhatjuk (1950 k<sub>0</sub>). A raktározási költségek esetében a 3. felhasználónál található a legkisebb érték (474 k<sub>0</sub>), melyet szorosan követ a 2. felhasználó, míg a legnagyobb költség az 1. felhasználó esetén adódik (4000 k<sub>0</sub>). Előkészítési költségek esetén az első üzem adja a legkisebb hányadot (18,7 %), míg a második és harmadik üzem nagyobb súllyal szerepel (38% és 43,3%). Raktározási költségnél az egyes üzemek aránya (38,6%, 35% és 26,4%).



10. ábra. Az összköltség beszállítónkénti és komponensenkénti diagrammja

A szerelősorok állásidejéből származó veszteségi költség összesen 90,6 k<sub>0</sub>, ami az egyes üzemek esetén a következőképpen alakul: 6 k<sub>0</sub>, 35 k<sub>0</sub> és 49,6 k<sub>0</sub>. Látható, hogy a legnagyobb arányban a 3. üzem szerepel (54,75 %), ami nem meglepő, hiszen ezen üzem szerelősorainak a kihasználtsága volt a legrosszabb (57,3 %).

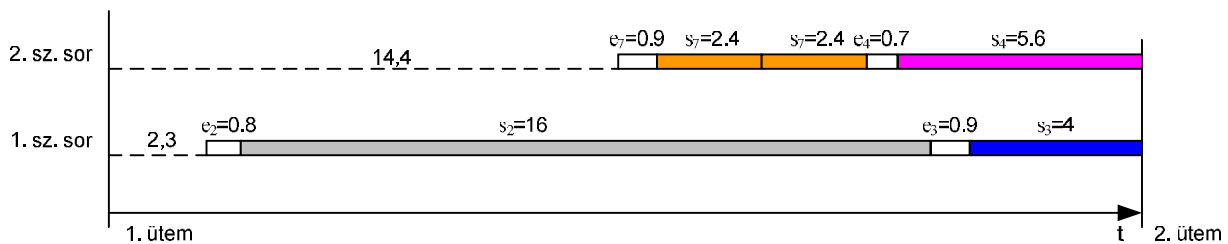
## A SZERELÉSÜTEMEZÉS ALGORITMUSA

- (1. lépés) Vesszük az első megrendelést és megvizsgáljuk, hogy ezen sorozat nem vonható-e valamelyik azonos sorozattal össze egy korábbi ütemben;
- (2. lépés) Meghatározzuk a sorozat összevonása által nyert szerelés-előkészítési költségcsökkenést, majd;
- (3. lépés) Meghatározzuk a sorozat-összevonással járó raktározási többletköltséget. Megvizsgáljuk, hogyan viszonyulnak egymáshoz az előbbi költségváltozások.
- (4. lépés) Ha a szerelés-előkészítési költségcsökkenés kisebb, mint az így keletkezett raktározási költségnövekedés, akkor vesszük a következő megrendelést és a 2. lépésre ugunk.

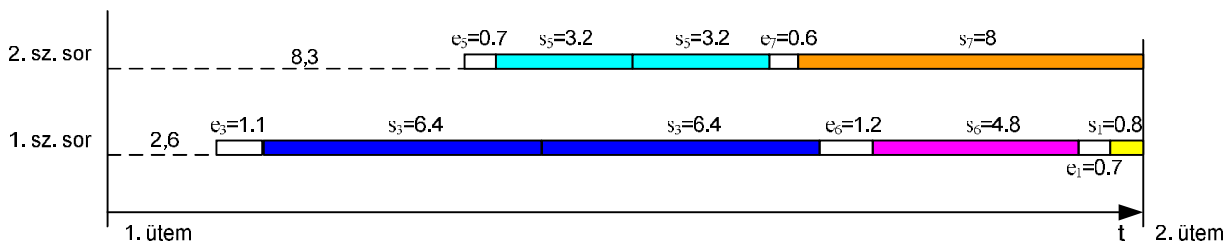
- (5. lépés) Ha a szerelés-előkészítési költségcsökkenés nagyobb, mint a raktározási többletköltség, akkor megnézzük, hogy a szerelősor kihasználtsága lehetővé teszi-e a sorozatok összevonását (tehát nem lesz-e egy másik sorozat esetében késve történő kiszállítás).
- (6. lépés) ha a kívánt megrendeléseket határidőre el tudjuk készíteni, akkor rögzítjük a sorozatok összevonását, vesszük a következő megrendelést és ugrunk a 2. lépésre.
- (7. lépés) ha nem tarthatók a határidők, akkor megvizsgáljuk, hogy az üzemben belül már meglévő sorozatok egyes szerelősorokon való cseréjével kielégíthetőek-e a rendelési határidők, úgy hogy továbbra is költségcsökkenés áll fenn.
- (8. lépés) ha igen, akkor ezen cseréket és a sorozat-összevonást rögzítjük és vesszük a következő megrendelést ugorva a 2. lépésre.
- (9. lépés) ha csak a határidők nem tarthatók, akkor meghatározzuk azt a sorozatot, amelyik elhagyásával a legkisebb lehet a késve kiszállításból adódó veszteség, és megvizsgáljuk, hogy ezen költségnövekedés hogyan alakul az előző lépésben megállapított költségcsökkenéshez.
- (10. lépés) ha ezáltal költségnövekedés keletkezik (tehát a késve kiszállításból adódó többletköltség nagyobb, mint a fent meghatározott költségcsökkenés), akkor elvetjük a sorozatok összevonásának lehetőségét és vesszük a következő megrendelést.
- (11. lépés) ha még továbbra is tudunk költségcsökkenést realizálni, akkor rögzítjük a sorozatok összevonását, vesszük a következő megrendelést és ugrunk a 2. lépésre.

Ezen algoritmust lefuttatva az előző fejezetben ismertetett ütemezési megoldásra a 4. táblázat pirossal kiemelt értékei (azon viszonyok, ahol a raktározási költség kisebb, mint a szereléselőkészületi költség) esetén jutunk összevonási lehetőséghez. Tehát a 3. szerelőüzem 3. felhasználó viszonylatában a 3. és az 5. késztermék esetében, illetve a 2. üzem által a 2. felhasználónak szállított 7. termék esetén. Az előbbinél mindössze 2 ütem összevonására van lehetőség 155  $k_0$  költségcsökkenés által (49  $k_0$  a 3. termék esetében és 106  $k_0$  az 5. termékénél), míg az utóbbinál 2-5 ütem is összevonásra kerülhet. Megvizsgálva az ütemösszevonási lehetőségeket megállapíthatjuk, hogy ez esetben is két ütem összevonásával érhető el a legnagyobb költségcsökkenés (243  $k_0$ ).

A következő két diagramon mindkét üzem összevont ütemének időbeni leterhelését ábrázoltuk. Nyilvánvaló, hogy a követő ütemekben nem kerül majd sor ezen ütemekben összeszerelt termékek előállítására.



11. ábra. A 2. üzem szerelősorainak összevonás utáni időbeni leterhelése



12. ábra. A 3. üzem szerelősorainak időbeni leterhelése összevonás után

Hozzárendelés költségei termékenként 5. táblázat

Termékek	költségek [k <sub>0</sub> ]						
	vásárlási	szerelési	közvetlen	közvetett	előkészít	raktároz	összesen
1.	11249	2450	360	1260	1500	756	17575
2.	11896	6000	2940	3080	800	3096	27812
3.	9900	3900	2000	480	975	758	18013
4.	8912	1200	900	1170	650	224	13056
5.	19153,5	8450	2800	2100	1025	3356	36884,5
6.	7381,5	4500	800	5000	625	936	19242,5
7.	4560	8050	1540	440	700	1487	16777
8.	9873	2200	480	6720	300	412	19985
Összesen	82925	36750	11820	20250	6575	11025	169345

Üzemenkénti, felhasználónkénti szereléselőkészítési és raktározási költségek 6. táblázat

Vevők	Szereléselőkészítési költség [k <sub>0</sub> ]				Raktározási költség [k <sub>0</sub> ]			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	1425	-	-	1425	4000	-	-	4000
2.	-	575	-	575	-	981	-	981
3.	-	-	675	675	-	-	994	994
4.	-	1950	-	1950	-	2786	-	2786
5.	-	-	-	-	-	-	-	-
6.	-	-	1950	1950	-	-	2264	2264
Össz.	1425	2525	2625	6575	4000	3767	3258	11025

Nyilvánvaló, hogy a későbbi ütemekben történő termékösszeszerelések korábbi ütemben végbemenő előrszerelése a raktározási költségek növekedését (ciklámen színű cellák), de a szereléselőkészítési költségek csökkenését (vörös cellák) vonja maga után. A raktározási költségek 652 k<sub>0</sub>-val nőttek (6,29 %), azonban a szereléselőkészítési költségek 1050 k<sub>0</sub>-val csökkentek (13,8 %). Összességében tehát megállapítható, hogy költségcsökkenés nagyobb mértéke révén az összköltség is csökkenni fog 398 k<sub>0</sub> értékkel.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tudományos dolgozatban vázolva lettek a bővített célfüggvény segítségével történő hozzárendelési lehetőségek és bemutatásra került az egy elosztóraktáras modell. Végül sor került a bővített célfüggvényes optimalizálásra kidolgozott algoritmus optimum érzékenységi vizsgálatára, a költségkomponensek arányainak elemzésére közvetett elosztás esetén, valamint a sorozatok összevonási lehetőségeinek vizsgálatára is.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munkát a K63591 számú OTKA projekt, valamint a Főiskolai Publikációs Alapítvány és A Mezőtúri Hallgatókért Alapítvány támogatta.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

CSELÉNYI József: Mathematisches Modell und Algorithmus des Montageprozesses für ein elektronisches Produkt. Magdeburger Schiffen zur Logistik, Magdeburg, 2002. 35–44. o.  
 CSELÉNYI József—ILLÉS Béla: Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása I. Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2006.

- CSELÉNYI József—TÓTH Tibor: Interrelations between Logistics and Production Control. Proceeding of MANSA'94 9<sup>th</sup> National Conference of the South African Institute of Industrial Engineers, Cape Town, 1994. 365–370. o.
- CSELÉNYI József—TÓTH Tibor: Mathematical model for optimisation of a product assembly system integrated by logistics and operating in a network like way. Proceedings of WESIC 2001, Twente, Drexel Institute for Mechatronics, 2001. 81–92. o.
- EVANS J. R.: Applied Production and Operations Management. West Publishing Company, Cincinnati, 1993.
- JÜNEMANN R.: Planung- und Betriebsführung-Systeme für die Logistik. Verlag TÜV Rheinland, Dortmund, 1990.
- KOVÁCS GY.—CSELÉNYI J.—KOVÁCS L.—BÁLINT R.: Conversion possibilities of storage zones of distribution warehouses in case of changing structure and volume of commissioned products. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference MTeM, Cluj-Napoca, 2005. 322–329. o.
- OLÁH B.—BÁNYAI T.—CSELÉNYI J.: Logistical tasks of co-operative assembly plants. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on AED, Prague, 2003. 110. o.
- OLÁH B.—BÁNYAI T.—CSELÉNYI J.: Algorithm of optimal assignment of assembly plants and end users within the framework of products in cooperative assembly system. Proceedings of Miskolczer Gespräche, Miskolc, University Press, 2003. 145–150. o.
- OLÁH B.—BÁNYAI T.—CSELÉNYI J.: Sensitivity analysis of optimal assignment of assembly plants and end users within the framework of products in a cooperative assembly system. Proceedings of microCAD 2004, Miskolc, University Press, 2004. 97–102. o.
- OLÁH B.—BÁNYAI T.—CSELÉNYI J.: Optimal assignment of assembly plants to the final product requirements of the end users in a cooperative assembly system. Proceedings of the 15th International DAAAM Symposium, Vienna, 2004. 321–322. o.
- OLÁH B.—BÁNYAI T.—CSELÉNYI J.: Comparison of direct and indirect distribution of a network-like operating logistics integrated assembly system. Production Systems and Information Engineering, Volume 4 (2006) Miskolc, University Press, 2006. 125–145. o.
- OLÁH B.—BÁNYAI T.—CSELÉNYI J.: Logistics integrated planning methods of distributing tours in a cooperative assembly system. Chapter 36 in DAAAM International Scientific Book 2006, Vienna, Published by DAAAM International, 2006. 449–464. o.
- SCHÖNENBURG E.—HEINZMANN F.—FEDDERSEN S.: Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien (Eine Einführung in Theorie und Praxis der simulierten Evolution). Berlin, Addison-Wesley. 1994.
- SCHÖNSLEBEN P. Integrates Logistik Management. (Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen), Heidelberg, Springer Verlag. 1998.
- SMILOWITZ K. R.—DAGANZO C. F.: Cost modeling and design techniques for integrated package distribution systems. Industrial engineering and management science working paper, Northwestern, University Press, 2004. 04–006. o.
- TÓTH, T.: Design and Planning Principles, Models and Methods in Computer Integrated Manufacturing, University Press, Miskolc, 1998.
- WINSTON L. W.: Operation Research: Applications and Algorithms. Budapest, Aula Kiadó. 2003.